

Министерство гражданской авиации СССР

Криворожское Авиационное Училище

Э.О. ТЕГЕЛЬ

**САМОЛЕТНАЯ
РАДИОЛОКАЦИОННАЯ
станция**

„Г Р О З А“

(К О Н С П Е К Т Л Е К Ц И Й)

КРИВОРОЖСКОЕ
авиационное спецслужб
гражданской авиации
БИБЛИОТЕКА

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА

г. КРИВОЙ РОГ

1970 г.

95/250

и-78

К2

ПРЕДИСЛОВИЕ

РЛС "Гроза" представляет собой современный радиолокатор, в котором используются новые элементы радиоэлектроники: лампа обратной волны, экранированные высокочастотные транзисторы, тиристоры, нувисторы, микромодули и т.д.

В различных комплектовках он может устанавливаться как на тяжелых магистральных самолетах, так и на легких самолетах местных воздушных линий.

В настоящее время радиолокатор "Гроза" устанавливается на самолетах ЯК-40, но, очевидно, в ближайшее время он будет установлен на серийных самолетах ТУ-154 и на опытном самолете ТУ-144. Перспективы его использования и на других типах самолетов гражданской авиации очень широкие.

Настоящий конспект представляет собой учебное пособие, подготовленное для курсантов старших курсов училища и слушателей сборов, имеющих достаточную общетеоретическую подготовку.

В нем рассматривается радиолокатор "Гроза" только в той комплектовке, в которой он устанавливается на самолетах ЯК-40.

В отличие от заводского описания, находящегося в стадии доработки, материал в конспекте расположен не по блокам, а по функциональным каналам, что с методической точки зрения является более правильным и облегчает изучение.

В конспект включены в виде справок краткие сведения по элементам радиоэлектроники, которые еще не входят в программы соответствующих общетеоретических курсов.

В некоторых случаях, когда на одной схеме показаны детали, находящиеся в разных блоках и имеющие одинаковые номера, во избежание путаницы введены двойные номера, из которых первый является номером блока, а второй — номером детали.

Чтобы не загромождать схемы, параметры деталей на них не указаны, а даны в "Приложении № 1" в виде спецификаций.

В "Приложении № 2" приводятся данные тех транзисторов, используемых в РЛС, которые еще не включены в справочники.

В "Приложении № 3" приводятся основные правила по технике безопасности, подлежащие безусловному соблюдению при работе с самолетными радиолокаторами.

С целью облегчить самостоятельную работу курсантов очного отделения и особенно курсантов-заочников, сделана попытка изложить материал возможно более просто.

С этой же целью, наряду с выборочными схемами отдельных сложных узлов, приведены эпюры токов и напряжений, поясняющие физику процессов.

Настоящий конспект является только лишь учебным пособием и ни в коей мере не может заменить техническое описание и инструкцию по эксплуатации, подготавливаемые к печати заводом-изготовителем.

Выражаю благодарность Тегель М.С. за большую помощь в подготовке рукописи к печати.

§ 1. Назначение и решаемые задачи

РЛС "Гроза" представляет собой самолетный метеорологический радиолокатор, предназначенный, в основном, для обнаружения гроз и различных гидрометеоров, опасных для прохождения самолета. Кроме того, РЛС "Гроза", как любой панорамный локатор, дает возможность наблюдать на экране индикатора специфическое радиолокационное изображение местности, лежащей впереди самолета.

Задачи, которые позволяет решать этот радиолокатор, весьма разнообразны. Он дает возможность:

- наблюдать метеообстановку впереди самолета на его эшелоне;
- выделять среди облачности методом контурной индикации ("Изо-эхо") зоны, опасные для прохождения самолета;
- обнаруживать встречные самолеты, горные вершины и тем самым предупреждать столкновения с ними;
- определять угол сноса самолета методом "остановленной антенны" путем использования эффекта Доплера;
- наблюдать на экране панораму пролетаемой местности и по радиолокационным ориентирам корректировать направление полета;
- решать ряд навигационных задач (определять путевую скорость, расстояние до аэропорта назначения, место фактического нахождения самолета, момент пролета боковых ориентиров и т.д.).

Радиолокатор "Гроза" является помехоустойчивым изделием, и его работа не нарушается при полете в сложных метеоусловиях. Благодаря применению схемы стабилизации плоскости обзора, изображение на экране почти не искажается при эволюциях самолета (тангаж и крен).

§ 2. Комплектная схема РЛС

Комплектная схема РЛС приведена на рис. I.I. В комплект входят:

- блок ГР1У - антенна;
- блок ГР2Р - приемопередатчик;
- блок ГР4В - индикатор;
- блок ГР7С - блок стабилизации и управления;
- блок ГР32-40 - волноводный тракт;
- блок ГР33И - рама, на которую устанавливается индикатор;
- блок ГР34А - рама, на которую устанавливаются блоки ГР2Р и ГР7С;
- блок ГР35 - эквивалент отклоняющей системы отсутствующего второго индикатора;
- блс : ГР40 - коробка связи, используемая в схеме стабилизации.

Кроме того, в групповой комплект входит блок ГР11 "Пульт контроля", используемый для включения и проверки РЛС на самолете и в лабораторных условиях.

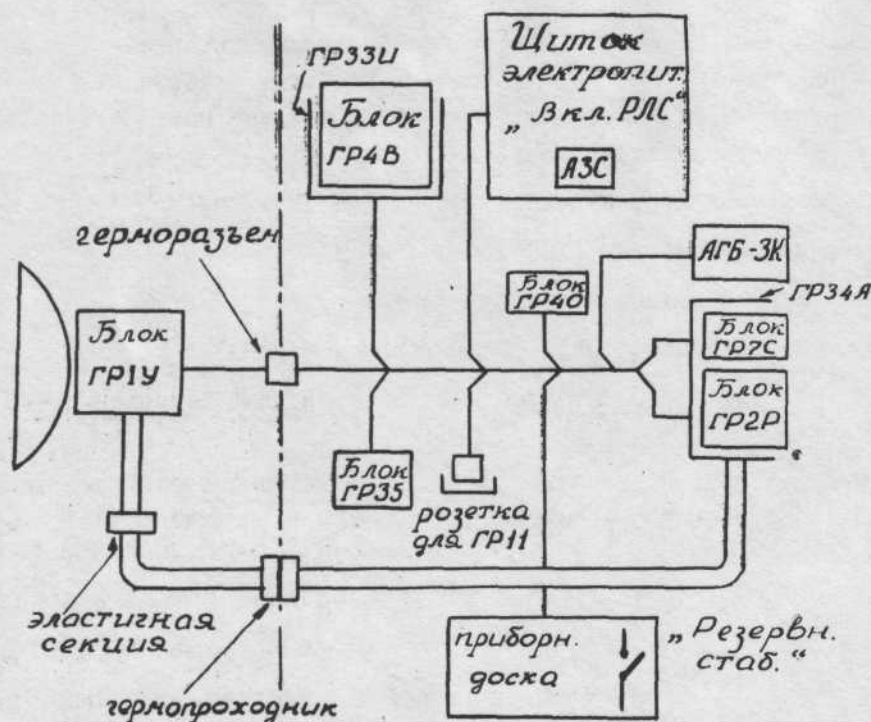


Рис. I.I. Комплектная схема РЛС "Гроза-40".

Ниже приводится краткая характеристика основных блоков РЛС.

Блок ГР1У. Антенна рассчитана на установку в носовом отсеке самолета. Диаметр отражателя 560 мм. Устройство антенны позволяет работать как узким, так и веерным лучом.

Ротор двигателя азимута вращается в одном направлении, но, благодаря кривошипному механизму, обеспечивается сканирование антенны в горизонтальной плоскости.

Кроме самой антенны, на блоке ГР1У расположены:

- двигатель азимута М1-1;
- двигатель наклона М1-5;
- тахогенератор М1-6, используемый в схеме стабилизации;
- три вращающихся трансформатора, два из которых используются в схеме стабилизации (М1-2 и М1-4) и один - в канале развертки (М1-3);
- кулачковый механизм с выключателем В1-1, служащий для переключения диаграмм направленности при сканировании антенны;
- ферритовый вращатель плоскости поляризации волны и реле Р1-1, служащие для перехода с узкой диаграммы направленности на веерную;
- отрезок волновода с вращающимся сочленением азимута.

Механические связи антенны с двигателями, вращающимися трансформаторами и т.д. показаны на рис. I.6.

Блок ГР2Р. В этом блоке расположены:

- схема включения питания;
- магнитный модулятор;

- магнетрон типа "Болеро";

- высокочастотная головка, в которую входят два балансных смесителя, разрядник защиты приемника, лампа обратной волны (ЛОВ), используемая в качестве тетеродина, два циркулятора, выполняющие функции антенного переключателя, волноводные щелевые мосты и аттенюаторы. Схема высокочастотной головки приведена на рис. 3.1;

- предварительный усилитель промежуточной частоты (ПУПЧ);

- усилитель промежуточной частоты (УПЧ); *

- система автоматической подстройки частоты (АПЧ);

- схема ВАРУ (временная автоматическая регулировка усиления);

- узел питания (УП). В нем вырабатываются стабилизированные напряжения -10 в, +10 в, -25 в, +25 в, +400 в.

Кроме того, в блоке расположены выпрямители с общим силовым трансформатором, создающие напряжения +120 в (питание нувисторов и индикатора), -650 в (поджиг разрядника) и стабилизированное напряжение -160 в.

Напряжения +400 в и -160 в предназначены для питания ЛОВ.

Блок ГР4В. В этом блоке расположены:

- электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) индикатора типа "Кино" и схема питания ее;

- видеоусилитель (ВУ);

- синхронизатор, который выдает импульсы масштабных меток, импульс подсвета и импульс формирования развертки. В синхронизаторе используются микромодули триггера и блокинг-генератора;

- выпрямитель 18 кв, служащий для питания главного анода ЭЛТ.

Кроме перечисленных узлов, в блоке находятся:

- выпрямители -10 в, +40 в и +450 в, служащие для питания схемы развертки, ЭЛТ и узлов блока;

- схема формирования развертки.

Все органы управления РЛС расположены на передней панели блока ГР4В (глава 8).

Блок ГР7С. В блоке ГР7С расположены элементы схемы стабилизации плоскости обзора антенны и управления наклоном, транзисторный и магнитно-тиристорный усилители канала стабилизации и шесть реле, относящиеся к схеме управления РЛС.

Центральной распределительной коробки в комплекте РЛС нет. Кабели, идущие к блокам, разделяются в коробке электропитания, относящейся к бортовой электросети самолета.

Сигналы тангажа и крена, необходимые для работы схемы стабилизации, вводятся в схему РЛС от авиагоризонта типа АГБ-ЗК.

Все блоки станции, кроме антенны, устанавливаются в герметизированной части самолета. Блок ГР1У устанавливается в носовом отсеке, и доступ к нему открывается при подъеме обтекателя.

Блок ГР4В устанавливается посередине приборной доски пилотов, в верхней ее части.

Габаритные размеры и вес блоков даны в таблице I.

Таблица I

Шифр блока	Вес, кг	Габаритные размеры, мм
ГР1У	8,7	570 x 562
ГР2Р	10,5	200 x 194 x 400
ГР4В	6,4	181 x 191 x 350
ГР34А	1,2	
ГР35	0,15	43 x 43 x 68
ГР7С	3,3	57 x 194 x 318

§ 3. Основные характеристики РЛС

1. Дальность обнаружения при высоте полета $H \geq 7$ км:
 - зона грозовой деятельности средней интенсивности, не менее 130 км
 - особо крупных промышленных центров и городов, не менее 230 км
 - крупных промышленных центров и городов, не менее 160 км
 - незастроенных участков местности, крупных водоемов, не менее 80+110 км
 - горных массивов и отдельных горных вершин, не менее 150 км
2. Рабочая частота - ~~100~~ мГц
3. Мощность в импульсе, не менее 10 кВт
4. Частота повторения импульсов - 400 гц
5. Длительность импульсов - 2 мксек
6. Диаграммы направленности антенны (рис. 2.13):
 - узкий луч - угол раствора, не более $4,1^\circ$
 - веерный луч - угол раствора в вертикальной плоскости - 30°
7. Сектор азимутального обзора станции - $\pm 100^\circ$
8. Скорость азимутального обзора станции - 23 полных цикла обзора в минуту
9. Пределы ручного наклона плоскости стабилизации диаграммы направленности антенны - $\pm 10^\circ$
10. Пределы углов, при которых обеспечивается стабилизация плоскости обзора:
 - по крену, не менее $\pm 15^\circ$
 - по тангажу, не менее $\pm 5^\circ$
11. Чувствительность приемника, не менее 100 дБ/мвт/
12. Полоса пропускания - 1,8+2,0 мГц
13. Промежуточная частота ($f_{пр} = f_{лов} - f_{магн.}$) - 30 мГц
14. Масштабы развертки:
 - 0-30 км масштабные метки 10 км
 - 0-50 км масштабные метки 10 км
 - 0-125 км масштабные метки 25 км

0-250 км	масштабные метки	50 км
200-375 км	масштабные метки	50 км

15. Режимы работы станции:

- "Готовность";
- "Земля";
- "Метео";
- "Контур";
- "Снос".

Характеристика режимов дана в параграфе 5.

16. Для питания станции необходимы напряжения:

115 в 400 гц, потребляемая мощность составляет 300 ва

36 в 400 гц, потребляемая мощность составляет 10 ва

27 в, потребляемая мощность составляет 58 вт

17. Вес комплекта (без кабелей), не более 30 кг.

§ 4. Основные отличия РЛС "Гроза" от ранее выпускавшихся РЛС

Несмотря на значительно меньшую мощность магнетрона, РЛС "Гроза" обладает характеристиками, которые не только не уступают соответствующим характеристикам ранее выпускавшихся РЛС, но даже превосходят их.

Разработчикам удалось создать надежно работающую РЛС с небольшими габаритами и с малым весом, позволяющую решать все основные задачи, возлагаемые на РЛС подобного назначения.

По сравнению с РЛС "РПСН-2" последних выпусков, она обладает следующими преимуществами:

- дальность обнаружения грозовых фронтов увеличилась на 20%, а крупных промышленных центров - на 30%, что обеспечивается благодаря более высокой чувствительности приемника и удачно выбранной схеме АПЧ (частота ЛОВ в интервалах между импульсами передатчика остается неизменной, что обеспечивает прием сигналов от далеких ориентиров);
- РЛС имеет минимум органов управления и не требует регулировок в полете;
- индикатор дает изображение повышенной яркости и применять тубус приходится только при попадании прямых солнечных лучей на индикатор;
- надежность работы значительно возросла, что достигнуто применением транзисторов вместо ламп (используются только 3 лампы, включая ЛОВ) и применением магнитного модулятора вместо модулятора с электронным ключом;
- на блоке индикатора расположены все органы управления, он имеет небольшие габариты и может устанавливаться на приборной доске самолета;
- РЛС при разных комплектовках может устанавливаться на все типы самолетов ГА;
- предусмотрено сочетание РЛС с вычислительным устройством, коррекция текущих координат места самолета (КТСМ) и т.д.;
- вес комплекта уменьшен в 5 раз.

§ 5. Режим работы РЛС

В соответствии с задачами, решаемыми РЛС, предусмотрено пять режимов работы: "Готовность", "Земля", "Метео", "Контур" и "Снос". Выбор нужного режима осуществляется переключателем "Режим", расположенным на передней панели блока индикатора (ГР4В). Ниже дается краткая характеристика каждого режима.

Режим "Готовность". Через 4 минуты после включения питания (т.е. нажатия клавиши "РЛС") радиолокатор готов к работе, но ни один канал не работает. На модулятор не подается напряжение ~ 115 в, поэтому он не создает ни импульсов высокого напряжения, питающих магнетрон, ни старт-импульсов, запускающих канал развертки и схему формирования масштабных меток.

Приемный канал также не работает, так как анодное напряжение на нувистор ПУПЧ и напряжение на коллектор ЛОВ не подаются.

Антенна сканирует, т.е. автоматически качается в плоскости азимута. Она подготовлена к формированию узкой диаграммы направленности.

Режим "Земля". В этом режиме осуществляется обзор земной поверхности. На масштабах 30, 50 и 125 км используется веерная диаграмма направленности. На масштабе 250 км диаграммы направленности используются поочередно: при движении антенны по часовой стрелке – веерная диаграмма, а при обратном движении – узкая. Узкая диаграмма дополняет веерную, что увеличивает дальность действия РЛС. На масштабе 200–375 км используется узкая диаграмма направленности. При высоте полета $H = 7$ км нижний край узкого луча попадает на землю на расстоянии 200 км от самолета. Коэффициент усиления антенны при формировании узкого луча значительно больше, чем при формировании веерной диаграммы, поэтому при использовании узкого луча дальность обнаружения целей увеличивается.

На масштабе 30 км включается схема ВАРУ. Она ослабляет влияние боковых лепестков и исключает засветку экрана сильными сигналами, отраженными от близлежащих ориентиров.

Для повышения контрастности изображения схема видеоусилителя видоизменяется так, что изображение на экране становится трехтоновым, т.е. имеет три световых тона:

- темный тон – сигнал на входе приемника отсутствует (например, при отражении от гладкой водной поверхности). Экран или совсем не освещен, или освещен очень слабо за счет собственных шумов приемного тракта;
- светлый тон – экран освещается за счет слабых сигналов, возникающих при отражении от незастроенных участков местности. На экране появляются фон местности, т.е. экран почти равномерно слегка освещен;
- яркий тон – на экране на фоне местности появляются яркие отметки, возникающие при отражении от радиолокационных ориентиров (города, крупные населенные пункты, железнодорожные узлы, отдельные здания, корабли, мосты и т.д.).

С помощью регулятора "Контраст" можно выделить только сильные сигналы, а остальные подавить или, наоборот, увеличить яркость более слабых сигналов.

Режим "Метео". Этот режим предназначен для обнаружения различных гидрообразований в атмосфере, грозовых фронтов, областей с большой турбулентностью движения и т.д. Кроме того, он используется для определения достаточности превышения самолета над горными вершинами и для обнаружения других самолетов, находящихся на том же эшелоне.

В режиме "Метео" на всех масштабах используется узкая диаграмма направленности, которая охватывает по вертикали следующие зоны:

- | | |
|-------------------------------------|---------|
| - на расстоянии 10 км от самолета - | 700 м; |
| - на расстоянии 30 км от самолета - | 2100 м; |
| - на расстоянии 50 км от самолета - | 3500 м. |

Картина, возникающая на экране, представляет собой как бы горизонтальный разрез облачности плоскостью полета: ближе к центру экрана располагаются зоны облачности, находящиеся вблизи от самолета, а ближе к краю экрана – зоны облачности, удаленные от самолета на рас-

стояния, определяемые выбранным масштабом.

Чем больше плотность облачности, чем более крупными частицами она образована, чем больше турбулентность движения частиц в ней, тем больше коэффициент отражения, тем ярче отметка этой облачности на экране РЛС.

Облачность, неопасная для прохождения самолета, просматривается на экране в виде слегка освещенных зон, на фоне которых располагаются более яркие отметки опасных зон, границы которых в режиме "Метео" определить невозможно.

Таким образом, в режиме "Метео" можно лишь наблюдать общую метеос обстановку на эшелоне полета, а при наклоне антенны вниз или вверх на несколько градусов можно заранее выбрать наиболее безопасный эшелон на случай необходимости обхода.

Горные вершины просматриваются на экране в виде ярких отметок, за которыми обычно располагаются тени, возникающие вследствие того, что участки местности, лежащие за вершиной, оказываются экранированными и не облучаются радиоволнами.

Если превышение самолета над вершинами достаточное (более 600 м), то отметка вершины, по мере приближения к ней самолета, перемещается к центру экрана, размеры ее уменьшаются, яркость ослабляется и, не доходя до первого 10-километрового кольца дальности, исчезает.

Исчезновение отметки вершин на расстоянии 10-12 км является признаком безопасного полета.

Если превышение самолета над вершиной недостаточное для безопасного полета, то отметка вершины входит в 10-километровое кольцо, расположенное вокруг центра экрана и экипаж обязан предпринять обходный маневр. Сказанное иллюстрируется рисунком 1.2.

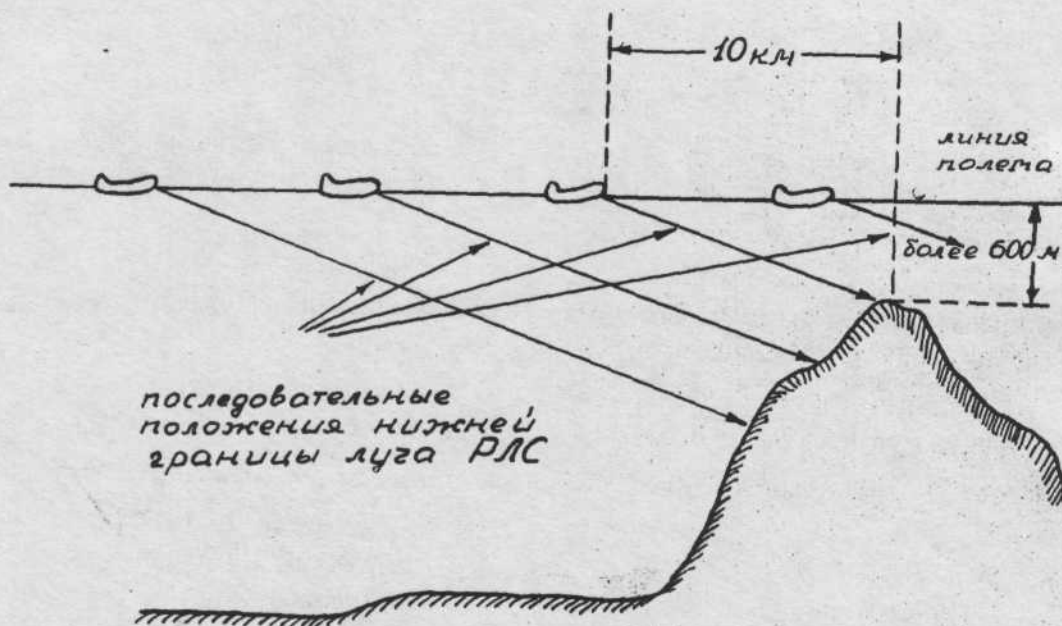


Рис. 1.2. Иллюстрация пропадания отражений от вершины при сближении.

Самолеты имеют небольшую эффективную отражающую поверхность (особенно на встречных курсах), поэтому обнаруживаются на небольших расстояниях: 10 - 15 км.

Чтобы исключить ослабление отметок самолетов и горных вершин под действием импульса ВАРУ, схема ВАРУ в режиме "Метео" не работает.

Режим "Контур". Предназначается для выделения зон облачности, опасных для прохождения

самолета. Возможность выделения опасных зон основана на том, что интенсивность сигнала, отраженного от них, значительно больше, чем интенсивность сигнала, отраженного от неопасных зон.

Используемый метод выделения опасных зон называется методом контурной индикации или "Изо-эхо".

В схеме видеоусилителя сильные сигналы, соответствующие опасным зонам, подавляются и на их месте появляются темные контуры, контрастно выделяющиеся на светлом фоне, образованном отражениями от неопасных зон (рис. 1.3).

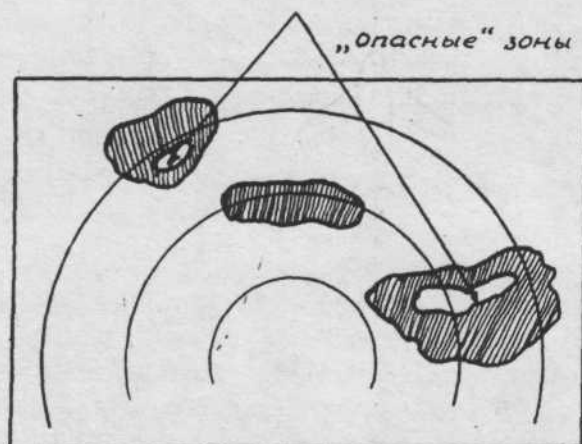


Рис. 1.3. Выделение опасных зон в режиме "Контур".

Граница темного контура представляет собой кривую равных по интенсивности отраженных сигналов, т.е. эхо-сигналов. Слово "изо" обозначает "равный", и под сочетанием слов "изо-эхо" принято понимать линию равных эхо-сигналов (по аналогии с общеизвестными в технике линиями "изотерма", "изобара" и т.д.).

В режиме "Контур" используется узкая диаграмма направленности. Включается схема ВАРУ, исключающая возможность ошибочной оценки близкой неопасной облачности, дающей сильный отраженный сигнал из-за близости, как опасной.

Регулятор "Контраст" из схемы отключается, и для выделения опасных зон при переходе из режима "Метео" в режим "Контур" никаких регулировок не требуется.

Режим "Снос". Для определения угла сноса используется метод "остановленной антенны", основанный на том, что при совпадении оси диаграммы направленности с направлением фактического пути самолета, т.е. с направлением вектора путевой скорости, вторичные доплеровские частоты оказываются минимальными.

Как известно, эффект Доплера^{х/} заключается в том, что частота принятого отраженного сигнала отличается от частоты передатчика, перемещающегося со скоростью W относительно отражающей площадки. Приращение частоты, происходящее в этом случае, называется частотой Доплера и определяется по формуле:

$$F_D = f_0 \frac{2W'}{C},$$

где F_D - доплеровская частота;

f_0 - частота магнетрона;

C - скорость распространения радиоволн;

W' - скорость приближения самолета к отражающей площадке ($W' = W \cdot \cos\theta \cdot \cos\beta$), где θ и β углы, заключенные между вектором путевой скорости W и направлением излучения на отражающую площадку, рис. 1.4).

Под вторичной доплеровской частотой ($F_{\text{втор}}$) понимается разностная частота, возникающая при сравнении двух сигналов, отраженных от разных участков местности. Возникновение вторичной доплеровской частоты поясняется на рисунке 1.5.

Диаграмма направленности упирается в землю в пределах дуги $a-b$. Самолет приближается к точке "а" со скоростью W' , а к точке "б" со скоростью W'' . Так как скорости

^{х/} Христиан Допплер, австрийский физик (1803 - 1853 гг.), работавший в области звуковых частот и открывший эффект, названный его именем.

W' и W'' не равны, то частоты сигналов, отраженных от точек "а" и "б" (обозначим их f_a и f_b), также не будут равны. Между ними возникает биение, и детектор выделяет разностную частоту, которая и есть вторичная доплеровская частота:

$$F_{\text{втор.}} = f_a - f_b.$$

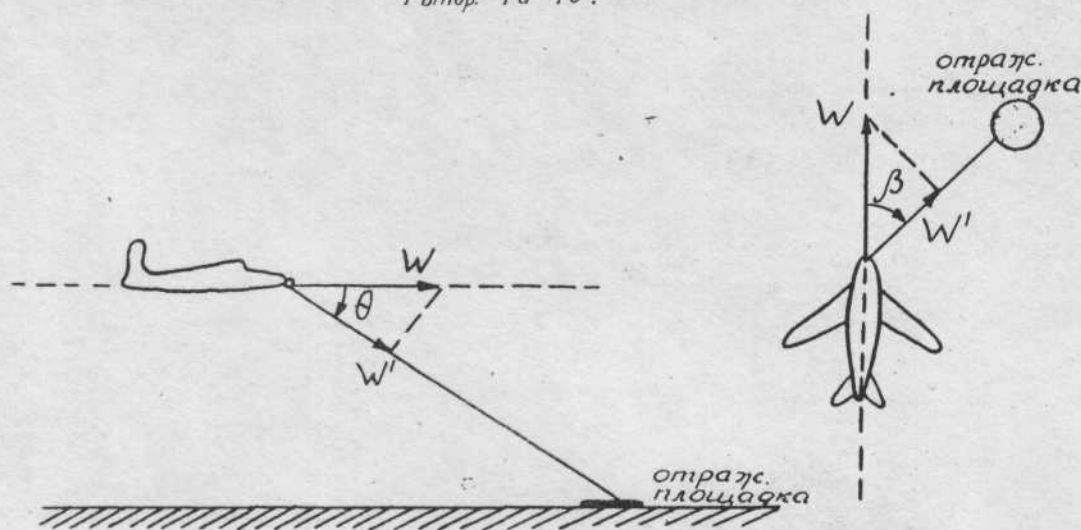


Рис. I.4. К пояснению углов θ и β .

Напряжение вторичной доплеровской частоты усиливается видеоусилителем и модулирует электронный луч, поэтому на линии развертки, возникающей при остановленной антенне, появляются яркие блески,двигающиеся вдоль линии развертки в том или в другом направлении.

Если, в нашем случае (рис. I.5), начать поворачивать антенну по часовой стрелке, то, когда диаграмма направленности расположится симметрично относительно вектора путевой скорости, составляющие путевой скорости W' и W'' будут равны и вторичная доплеровская частота, на первый взгляд, должна стать равной нулю. Но на самом деле отражение происходит не только от точек "а" и "б", но и от всех промежуточных точек, поэтому вторичная доплеровская частота не равняется нулю, но имеет минимальное значение. При этом частота и скорость движения блесков также становятся минимальными, что при некотором навыке и достаточно медленном повороте антенны легко обнаруживается оператором.

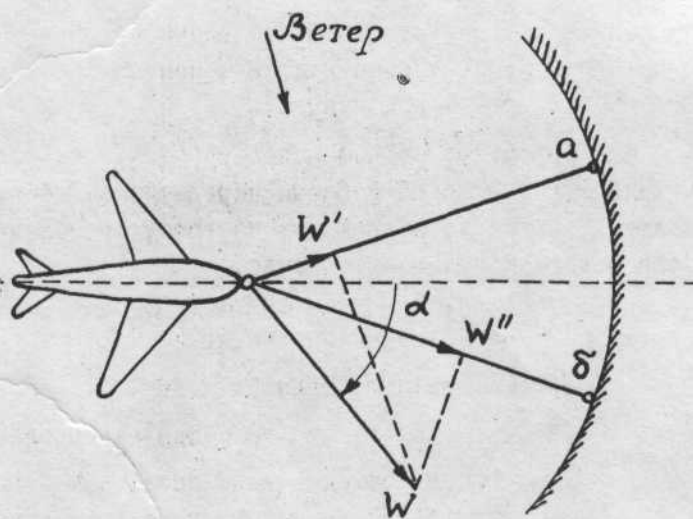


Рис. I.5. К определению угла сноса.

Таким образом, по минимуму вторичных доплеровских частот определяется направление вектора путевой скорости, а угол, на который для этого пришлось повернуть антенну, и есть угол сноса.

Напоминаем, что углом сноса " α " называется угол, заключенный между продольной осью самолета и направлением линии фактического пути, т.е. вектора путевой скорости.

Угол сноса отсчитывается по азимутальной шкале индикатора, которая в пределах $\pm 20^\circ$ от

нулевого отсчета отградуирована через каждый градус, а оцифровка нанесена через 2^0 .

Следует иметь в виду, что блески обнаруживаются только тогда, когда ось диаграммы направленности почти совпадает с направлением вектора путевой скорости, а при удалении от него вторичная доплеровская частота оказывается столь большой, что глаз блески не обнаруживает.

В режиме "Снос" на масштабах 30, 50 и 125 км используется веерная диаграмма направленности. Это обеспечивает движение блесков по всей линии развертки, а не на отдельном ее участке, что наблюдалось бы при использовании узкой диаграммы направленности.

При переходе в режим "Снос" антенна останавливается в произвольном положении и включается ручное управление поворотом антенны при помощи нажимных клавиш. Скорость поворота антенны регулируется потенциометром, ось которого связана с рукояткой "Контраст" (потенциометр "Контраст" в режиме "Снос" от схемы отключается).

§ 6. Функциональная схема

На рисунке I.6 приведена функциональная схема РЛС. Она представляет собой совокупность функциональных схем отдельных каналов. Как и другие самолетные радиолокаторы, РЛС "Гроза" имеет следующие каналы:

- передающий канал;
- приемный канал;
- канал АПЧ (система АПЧ);
- канал синхронизации (в него входит канал формирования масштабных меток);
- канал развертки;
- канал стабилизации и управления антенной.

Для изучения каждого канала отводится отдельная глава, в начале которой приводится и рассматривается более подробная функциональная схема канала или отдельных узлов, входящих в него. Поэтому ниже дается лишь краткое описание функциональной схемы, необходимое для первого знакомства с РЛС, чтобы сложилось правильное представление о ее работе.

При выборе любого режима, кроме режима "Готовность", напряжение ~ 115 в через схему времени, создающую задержку на 4 минуты, подается на вход схемы магнитного модулятора, состоящего из двух сжимающих каскадов. Первый каскад преобразует гармоническое напряжение в импульсное. В емкостном накопителе происходит накопление энергии, а затем с помощью магнитного и тиристорного ключей обеспечивается быстрый разряд накопителя. Ток разряда, имеющий форму импульса, проходит через первичную обмотку трансформатора, и во вторичной обмотке возникает Э.д.с., заряжающая накопитель энергии второго сжимающего каскада. Когда напряжение на нем достигает определенной величины, срабатывает магнитный ключ, и во время разряда накопителя второго каскада возникает импульс высокого напряжения заданной длительности, поступающий на магнетрон. Магнетрон создает СВЧ-колебания, которые по волноводному тракту, в виде бегущей волны электромагнитного поля, передаются в антенну и излучаются ею в пределах узкой или веерной диаграммы направленности.

Одновременно с импульсом, питающим магнетрон, во втором сжимающем каскаде возникает старт-импульс, запускающий синхронизатор и схему ВАРУ.

Энергия, отраженная от земной поверхности (или от различных гидрообразований в атмосфере), воспринимается антенной и по волноводному тракту через вращающееся сочленение, циркуляторы и погашенный разрядник защиты приемника попадает в балансный смеситель УПЧ. К баланвному смесителю подводится также СВЧ - энергия ЛОВ, используемой в качестве гетеродина.

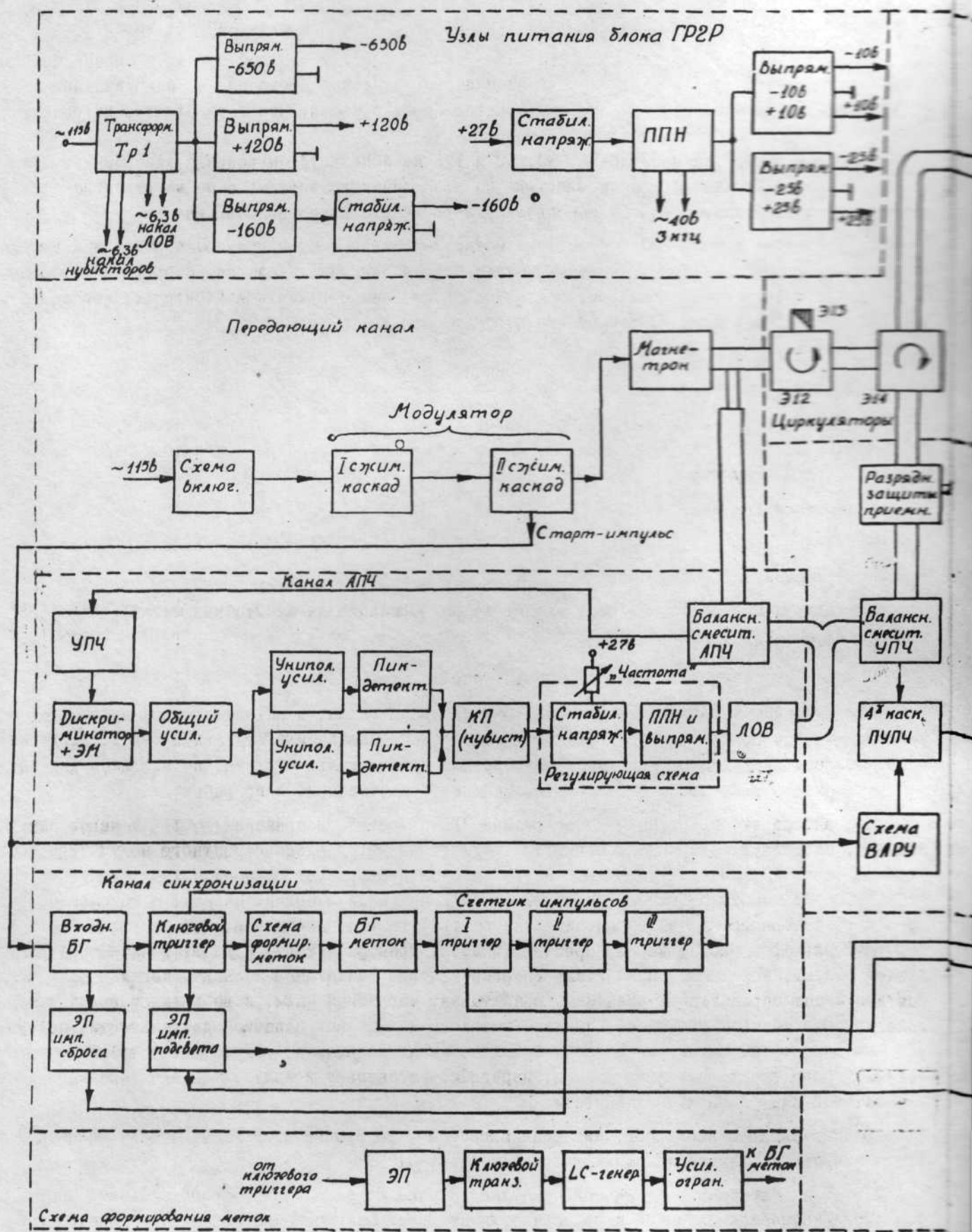
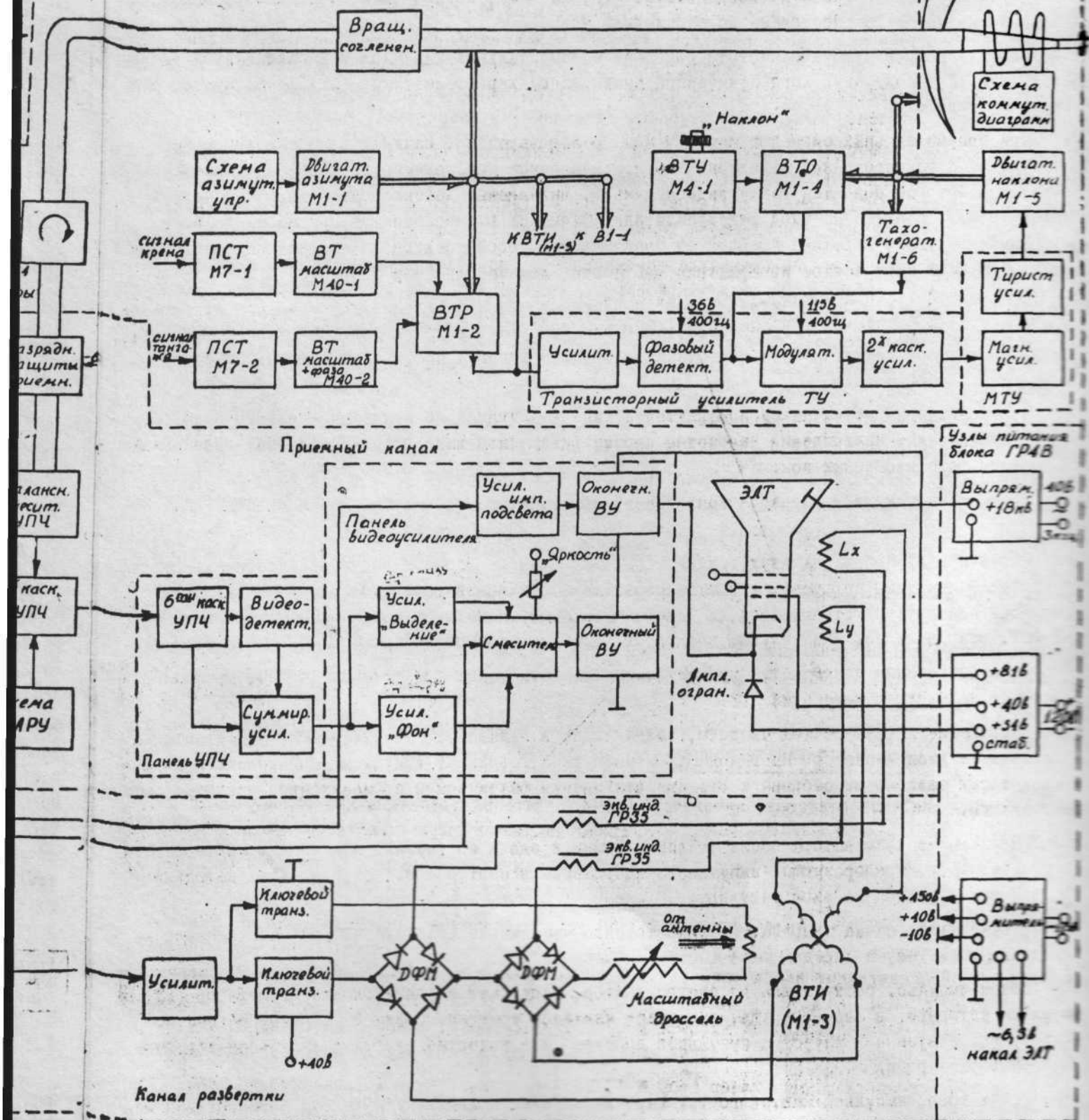


Рис. 1.6. Функциональная схема РЛС.

Канал стабилизации и управления антенной

Ось наклона



Огибающая принятого сигнала, содержащая радиолокационную информацию, переносится на промежуточную частоту, возникающую в балансном смесителе.

Напряжение промежуточной частоты усиливается 4-каскадным ПУПЧем и поступает на вход УПЧ.

В режиме "Контур" на ПУПЧ воздействует импульс ВАРУ, исключая зависимость амплитуды выходных импульсов от расстояния до отражающей зоны.

Усилитель промежуточной частоты содержит 6 усилительных каскадов и заканчивается видео-детектором. Для получения логарифмической амплитудной характеристики (ЛАХ) используется суммирующий усилитель.

При приеме сильных сигналов каскады УПЧ последовательно, начиная от последнего, переходят в режим детектирования, и видеоимпульсы, выделяемые ими, суммируются в специальном усилителе, на который подаются также видеоимпульсы, выделяемые детектором. С выхода панели УПЧ видеоимпульсы подаются на вход видеоусилителя. Схема ВУ видеоизменяется при переходе из одного режима в другой. В режиме "Земля" он представляет собой трехтоновой видеоусилитель, позволяющий получить контрастное изображение местности, лежащей впереди самолета.

На входе ВУ имеются усилители "Фон" и "Выделение", представляющие собой амплитудные ограничители. Усилитель "Фон" ограничивает сигналы "сверху", а усилитель "Выделение" - "снизу", благодаря чему амплитудная характеристика имеет две ступени, что и обеспечивает получение трехтонового изображения.

В режиме "Контур" схема ВУ изменяется и сильные сигналы подавляются, поэтому зоны облачности, опасные для прохождения самолета, просматриваются в виде темных контуров, возникающих на светлом фоне неопасных зон.

В смесителе сигналы "Фона" и "Выделения" складываются с импульсами масштабных меток и подаются на оконечный ВУ.

Оконечный ВУ собран на двух транзисторах, на один из которых подаются видеоимпульсы, а на другой - импульсы подсвета, возникающие в схеме синхронизатора. Во время существования импульсов подсвета ВУ открывается, и видеоимпульсы отрицательной полярности подаются на катод ЭЛТ, открывают ее, и на экране возникает радиолокационное изображение.

Для обеспечения постоянства промежуточной частоты используется система АПЧ, которая воздействует на частоту колебаний ЛОВ.

Напряжение промежуточной частоты, возникающее в балансном смесителе АПЧ, усиливается и поступает на дискриминатор. На выходе дискриминатора возникают импульсы, полярность и амплитуда которых зависит от стороны и степени отклонения фактической промежуточной частоты от номинальной.

Импульсы дискриминатора после усиления общим и одним из униполярных усилителей подаются на пик-детектор, преобразующий импульсное напряжение в постоянное, которое через катодный повторитель подается на вход регулирующей схемы.

Регулирующая схема вырабатывает постоянное напряжение (порядка 400 в), поступающее на замедляющую систему и определяющее частоту колебаний ЛОВ.

Старт-импульс, поступающий на синхронизатор, запускает входной блокинг-генератор (БГ), импульсы которого, в свою очередь, запускают ключевой триггер, создающий прямоугольные импульсы, используемые в качестве импульсов подсвета и в качестве исходных импульсов для формирования развертки.

Кроме того, импульсы ключевого триггера используются для запуска схемы формирования меток. Они открывают ключевой транзистор, и LC-генератор вступает в работу. Частота колебаний этого генератора точно соответствует частоте повторения импульсов меток на каждом

на другой;

- коммутатор волноводный (блок ГР47), служащий для переключения антенны с одного приемопередатчика на другой;
- эквивалент отклоняющей системы, блок ГР35 (только при использовании одного индикатора);
- узел измерения высокочастотных параметров, блок ГР24;
- волноводный тракт, блок ГР32 (для каждого самолета свой вариант: ГР32-144, ГР32-154 и т.д.).

В приведенной комплектке дальность обнаружения гроз средней интенсивности увеличивается до 200 км, а особо крупных промышленных центров - до 350 км.

Общий вес комплекта для магистральных самолетов, в зависимости от варианта, лежит в пределах от 42 до 49 кг.

Глава 2. ПЕРЕДАЮЩИЙ КАНАЛ

§ 1. Функциональная схема

В передающий канал входят:

- схема включения;
- модулятор;
- магнетрон и схема питания его;
- волноводный тракт и антенна.

Кроме того, в этой главе рассматриваются источники питания блока ГР2Р, не имеющие непосредственного отношения к передающему каналу.

Через 4 минуты после включения питания РЛС, при переводе переключателя "Режим" из положения "Готовность" в любое другое положение, напряжение ~ 115 в подается на модулятор. Используется магнитно-тиристорный модулятор, состоящий из двух сжимающих каскадов. Первый каскад выдает импульсы с длительностью около 10 мксек (амплитуда 5,7 кв). Во втором каскаде происходит окончательное сжатие, и он выдает импульсы с длительностью 2 мксек с амплитудой 7,5 кв. Благодаря применению тириستоров в первом каскаде и формирующей линии во втором, форма выходных импульсов приближается к прямоугольной.

Импульсы модулятора отрицательной полярности подаются на катод магнетрона, и магнетрон создает СВЧ-импульсы, которые по волноводному тракту передаются в антенну и излучаются ею.

§ 2. Схема включения

Схема включения создает задержку в 4 минуты, благодаря которой импульсы высокого напряжения подаются на магнетрон только после достаточного прогрева катода, что в значительной мере увеличивает срок службы магнетрона.

Кроме того, возникающая в схеме включения задержка используется для раздельного включения питания цепей накала и анодных цепей ЭЛТ, ЛОВ и нувисторов.

В схеме включения (рис. 2.1) используются 6 реле, из которых 4 (Р2-1, Р2-2, Р2-3, Р2-5) находятся в блоке ГР2Р и 2 (Р7-3, Р7-4) - в блоке ГР7С.

на масштабе. Гармонические колебания LC -генератора подаются на усилитель-ограничитель, где преобразуются в прямоугольные колебания (меандр) и далее поступают на вход БГ-меток, где дифференцируются и запускают БГ.

Импульсы меток с выхода БГ поступают в два адреса: в схему ВУ, где смешиваются с видеосигналами и вместе с ними попадают на катод ЭЛТ, и в триггерный счетчик импульсов.

Счетчик импульсов предназначен для создания импульса сброса ключевого триггера. Когда на вход счетчика поступает импульс метки, которая должна располагаться на краю экрана, счетчик выдает импульс, возвращающий ключевой триггер в исходное состояние. При этом генерация меток прекращается, заканчиваются импульсы развертки и импульсы подсвета.

В РЛС "Гроза" используется неподвижная отклоняющая система, магнитный поток которой вращается синхронно с антенной. Импульс, предназначенный для формирования развертки из синхронизатора, через ЭП импульсов подсвета и через усилитель подается на ключевые транзисторы, в общую коллекторную цепь которых включены масштабный дроссель и ротор ВТИ.

Ключевые транзисторы открываются, и напряжение источника $+40$ В прикладывается к масштабному дросселю и ротору ВТИ, представляющих собой для источника индуктивное сопротивление. Поэтому ток, возникающий в роторе ВТИ, нарастает по закону экспоненты, начальный участок которой линеен. Индуктивность масштабного дросселя, при переходе с одного масштаба на другой, коммутируется, что позволяет получить для каждого масштаба определенную скорость нарастания тока.

Ток, протекающий в роторе ВТИ, трансформируется в статорные обмотки, последовательно соединенные с отклоняющими катушками, результирующий магнитный поток которых отклоняет луч.

При повороте ротора ВТИ изменяется соотношение токов в статорных обмотках, а следовательно, и в отклоняющих катушках, что вызывает соответствующий (синхронный) поворот результирующего магнитного потока. Диодно-фиксирующие мосты имеют вспомогательное значение, и здесь их касаться не будем.

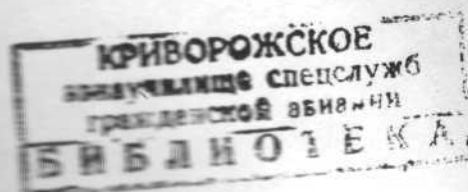
В РЛС "Гроза" используется стабилизация плоскости обзора антенны, значительно уменьшающая искажения изображения при кренах и тангаже самолета.

Так как схема стабилизации несколько громоздка и краткое описание ее затруднительно, чтобы избежать повторений, рекомендуется ознакомиться с § 4 главы 7, где дано описание ее функциональной схемы.

§ 7. Комплектовка РЛС "Гроза" для магистральных самолетов

С целью увеличения дальности действия РЛС и обеспечения резервирования для магистральных самолетов применяется следующая комплектация:

- антенный блок с увеличенным размером отражателя ($D = 760$ мм) варианта ГР1Б (для самолета ТУ-144 - ГР1Т с повышенной теплостойкостью);
- два приемопередатчика, основной блок - ГР2Р и дополнительный - ГР2Б, обеспечивающий повышенную дальность действия за счет увеличения длительности импульсов магнетрона до 3,5 мксек. Для самолета ТУ-144 разработан вариант ГР2У, содержащий усилитель СВЧ на туннельном диоде;
- два индикаторных блока: основной - ГР4В (или ГР4Н) и дополнительный - ГР4ДВ (или ГР4ДН). В комплектации "Гроза-144" используется один индикаторный блок варианта ГР4Н;
- блок стабилизации и управления, вариант ГР7Б (без переходных сельсин-трансформаторов);
- блок коррекции ТКМС (текущих координат места самолета) по радиолокационным ориентирам, вариант ГР28Б;
- коробка коммутационная (блок ГР17), служащая для перехода с одного приемопередатчика



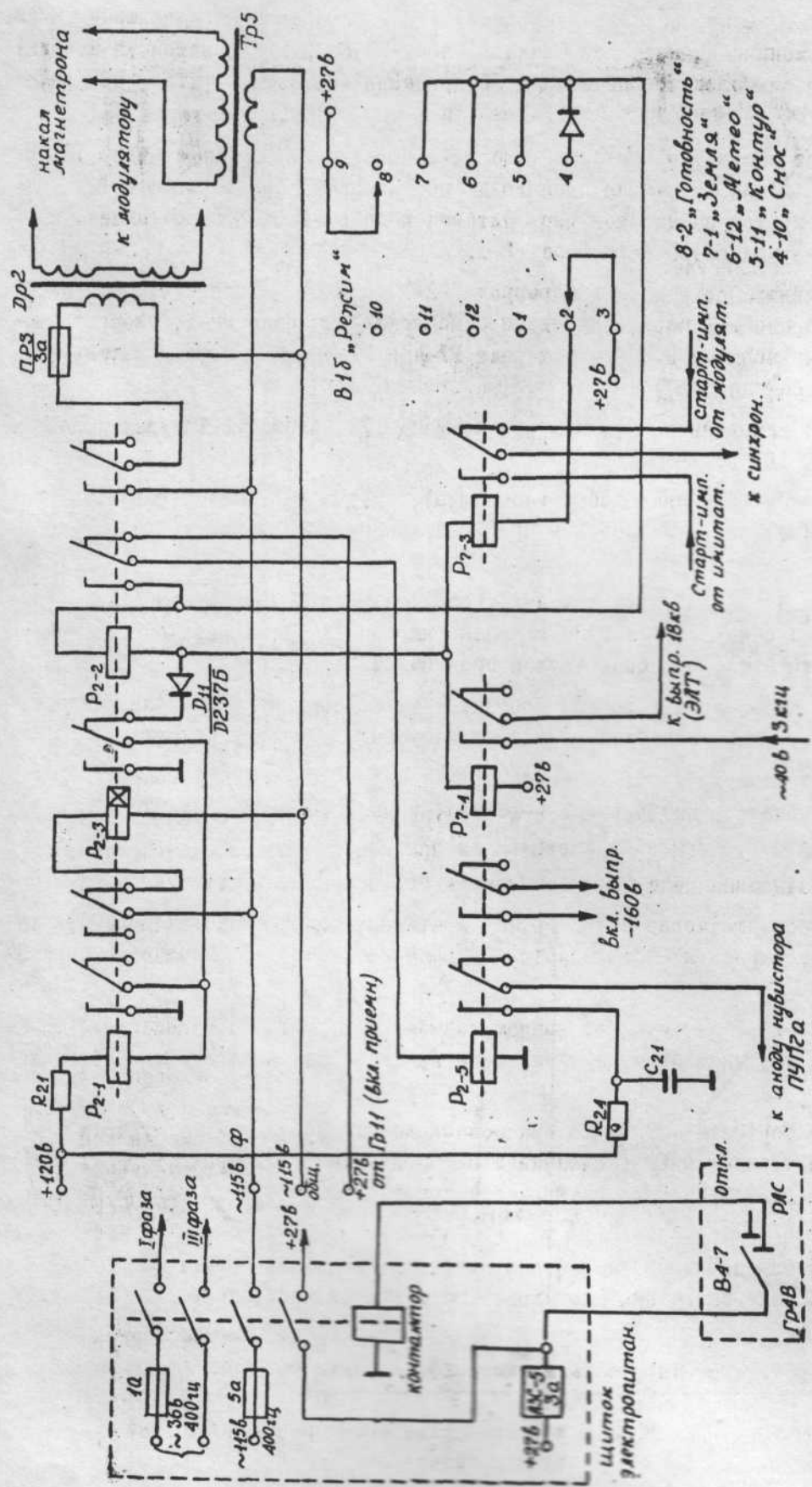


Рис. 2.1. Схема включения питания РДС.

При включении АЭС на щитке электропитания напряжение $+27$ в подается на клавишный выключатель "РЛС - откл.", расположенный на передней панели блока ГР4В, и при нажатии на клавишу "РЛС" срабатывает контактор в щитке электропитания, и напряжения бортсети ~ 115 в 400 гц, ~ 36 в 400 гц и $+27$ в подаются в схему РЛС.

Напряжение ~ 115 в через замкнутые контакты реле Р2-1 подается на подогреватель термореле Р2-3, и через две минуты после включения происходит перекидка якоря термореле Р2-3 из правого положения в левое. При этом замыкается цепь питания реле Р2-1, оно срабатывает, самоблокируется и разрывает цепь подогрева термореле Р2-3.

Еще через две минуты, когда подогреватель термореле Р2-3 остынет, якорь его будет переключен из левого положения в правое. Теперь, благодаря самоблокировке реле Р2-1, якорь термореле Р2-3 соединен с корпусом, поэтому срабатывают реле Р7-4 и Р7-3 (если переключатель "Режим" установлен в положение "Готовность").

Через контакты реле Р7-4 напряжение ~ 40 в 3 кгц из узла У1 блока ГР2Р будет подано в блок ГР4В на вход выпрямителя I8 кв.

Если к РЛС присоединен имитатор (импульсный генератор), то импульс имитатора через контакты реле Р7-3 попадет в схему синхронизатора и на экране индикатора появятся развертка и метки.

При переводе переключателя "Режим" из положения "Готовность" в любое другое положение напряжение $+27$ в будет снято с обмотки реле Р7-3 и подано на обмотку исполнительного реле Р2-2 (через правую часть платы В1б), оно сработает и произойдет следующее:

- напряжение ~ 115 в через правую группу контактов будет подано на вход модулятора, и передатчик вступит в работу. Старт-импульс модулятора запустит развертку и метки;

- напряжение $+27$ в через левую группу контактов будет подано на обмотку реле Р2-5, оно сработает, будет включен выпрямитель питания ЛОВ (-160 в), и на анод нувистора ПУПЧа попадет напряжение $+120$ в.

Таким образом, при срабатывании реле Р2-2 все каналы РЛС вступают в работу.

Когда реле Р2-2 обесточено, то через левую группу контактов напряжение $+27$ в от пункта контроля (ГР11), если он присоединен к РЛС, подается на реле Р2-5, оно срабатывает, и приемник РЛС полностью включается.

Как видно из схемы, реле Р2-1 питается от выпрямителя $+120$ в, которое существует только при наличии напряжения ~ 115 в. Такая схема питания реле Р2-1 выбрана по следующим соображениям.

Если бы оно питалось от бортсети $+27$ в, то при исчезновении напряжения ~ 115 в реле Р2-1, Р2-2 и Р2-5 остались в отработанном состоянии и при появлении напряжения ~ 115 в импульсы высокого напряжения попали бы на магнетрон при холодном катоде, что вывело бы его из строя.

При выбранной схеме при исчезновении напряжения ~ 115 в реле Р2-1 обесточивается, и при появлении его вновь весь цикл включения происходит по заданной программе.

§ 3. Принцип работы магнитного модулятора

В последние годы в самолетных РЛС находят широкое применение магнитные модуляторы, имеющие значительно большую надежность, чем другие виды модуляторов.

В составе любого импульсного модулятора используются накопители энергии (емкости) и ключи, через которые происходит разряд накопителя на полезную нагрузку.

Модуляторы, в которых в качестве ключей используются приборы с нелинейными индуктивностями, называются магнитными модуляторами.

Нелинейными индуктивностями обладают дроссели и трансформаторы с насыщающимися сердечниками. Индуктивность их обмоток зависит от магнитной проницаемости сердечника (μ), которая под действием поля (H), намагничивающего сердечник, изменяется по нелинейному закону.

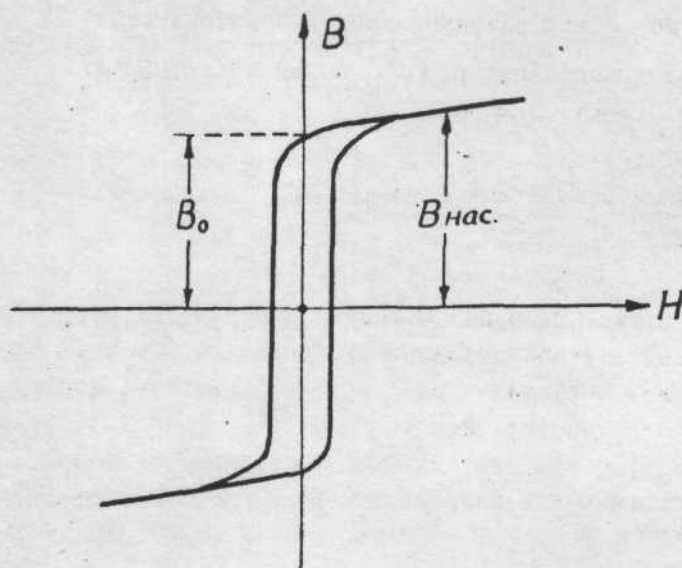


Рис. 2.2. Прямоугольная петля гистерезиса.

В качестве материала для изготовления сердечников используются специальные сплавы, имеющие прямоугольную петлю гистерезиса (рис. 2.2) с возможно меньшей площадью. Кроме того, материал сплава должен иметь возможно большую индукцию насыщения ($B_{нас.}$), что позволяет уменьшить габариты и вес сердечника.

Как видно из рисунка 2.3, при переходе сердечника в состояние насыщения магнитная проницаемость резко уменьшается ($\mu/\mu_{нас.} \geq 2000$), следовательно, также резко уменьшаются индуктивность (L) и индуктивное сопротивление (χ_L) рабочей обмотки дросселя или трансформатора:

$$\chi_L = \omega L; \quad L = \Phi_2(I); \quad \mu = \Phi_3(H).$$

Напряженность магнитного поля (H), в свою очередь, является функцией от тока, протекающего по рабочей обмотке прибора или по специальной обмотке, предназначенной для начального намагничивания сердечника.

Если сердечник дросселя (трансформатора) не насыщен, то индуктивность его обмотки велика и при возникновении тока появляется э.д.с. самоиндукции, препятствующая нарастанию тока (ключ разомкнут). При насыщении сердечника индуктивность его обмотки равна нулю, э.д.с. самоиндукции не возникает и ток нарастает быстро (ключ замкнут).

Обычно в импульсных магнитных модуляторах заряд накопительного конденсатора происходит медленно при разомкнутом ключе. Во время разряда происходит насыщение сердечника ключа, и накопительный конденсатор быстро разряжается через первичную обмотку выходного трансформатора, перемagnetивает его сердечник, и во вторичной обмотке появляется импульс высокого напряжения.

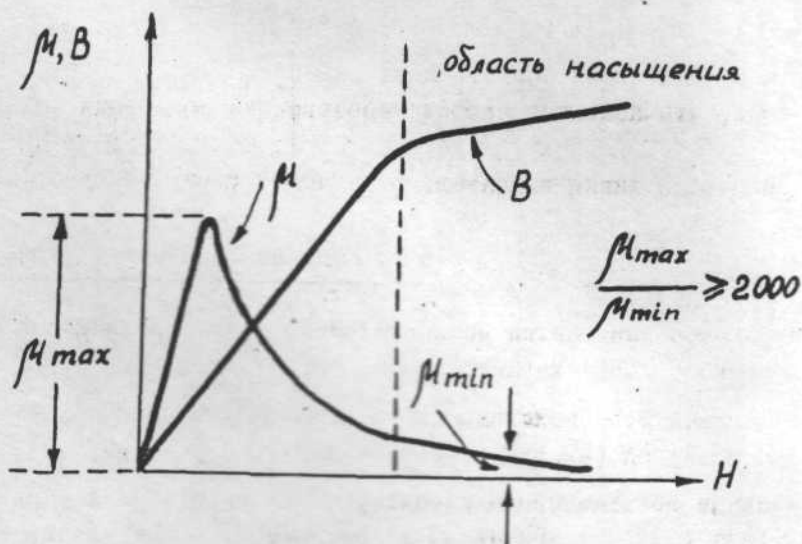


Рис. 2.3. Зависимость магнитной индукции (B) и магнитной проницаемости (μ) от напряженности поля (H) (для напряженности поля (H) взят крупный масштаб).

Таким образом, магнитный модулятор преобразует гармоническое переменное напряжение источника в импульсное. Для получения импульсов малой длительности модулятор должен иметь несколько каскадов, соединенных последовательно.

§ 4. Магнитный модулятор. Общие сведения

Схема магнитного модулятора приведена на рисунке 2.4. Он содержит два каскада, в каждом из которых используются накопительные емкости, полностью разряжающиеся в процессе работы.

В первом каскаде, нагрузкой которого служит трансформатор Тр3, применен низковольтный накопитель, образованный группой конденсаторов С16-24, а в качестве ключей используются тиристоры Д9, Д13 и нелинейные индуктивности (Др1, Тр3).

Во втором каскаде используется высоковольтный накопитель (конденсатор С15) и нелинейные индуктивности (Тр3, Тр2).

Дроссель Др2 представляет собой сочетание трансформатора и дросселя. Первичная обмотка намотана на одном сердечнике, а вторичная — на двух. Свободный от первичной обмотки сердечник имеет регулируемый зазор, с помощью которого изменяется индуктивность вторичной обмотки. Вторичная обмотка вместе с низковольтным накопителем образует последовательный контур, настраиваемый в резонанс с помощью регулируемого зазора на частоту источника питания (400 Гц). В колебательный контур входят также индуктивности дросселя Др1, трансформаторов Тр3, Тр4, Тр2 (см. цепь заряда низковольтного накопителя), но они очень малы по сравнению с индуктивностью вторичной обмотки дросселя Др2.

Дроссель Др1 и трансформаторы Тр2, Тр3, Тр4 имеют сердечники, обладающие прямоугольной петлей гистерезиса (пермаллой 50НП).

Трансформатор Тр2 — выходной. Через трансформатор Тр3 осуществляется связь первого каскада со вторым. Трансформатор Тр4 служит только для получения импульсов, управляющих тиристорами Д9, Д13.

Стабилитрон Д10 предназначен для защиты тиристоров от больших обратных напряжений на управляющих электродах.

Формирующая линия представляет собой сложный колебательный контур, параметры которого выбраны так, что половина периода собственных колебаний равняется длительности выходного импульса.

Формирующая линия значительно улучшает форму выходного импульса.

§ 5. Краткие сведения о тиристорах

Тиристором называется четырехслойный полупроводниковый прибор, вольтамперная характеристика которого подобна характеристике тиратрона.

На рисунке 2.5 показана структура тиристора. Он имеет три вывода: анод, катод и управляющий электрод (их также можно называть коллектор, эмиттер и база).

Типичные вольтамперные характеристики тиристора для различных значений тока управляющего электрода (I_y) приведены на рисунке 2.6. При увеличении тока I_y тиристор открывается при более низком напряжении на аноде. При достаточно большом токе I_y вольтамперная характеристика приближается к характеристике обычного диода (кривая 3).

Для того, чтобы открыть тиристор при положительном напряжении на аноде, нужно на управляющий электрод относительно катода подать положительный сигнал (импульс).

Управляющий электрод служит только для отпирания тиристора. После того, как тиристор переходит в проводящее состояние, управляющий электрод перестает управлять прибором.

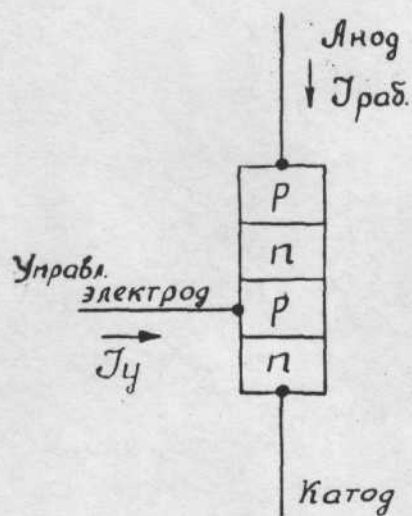


Рис. 2.5. Структура тиристора.

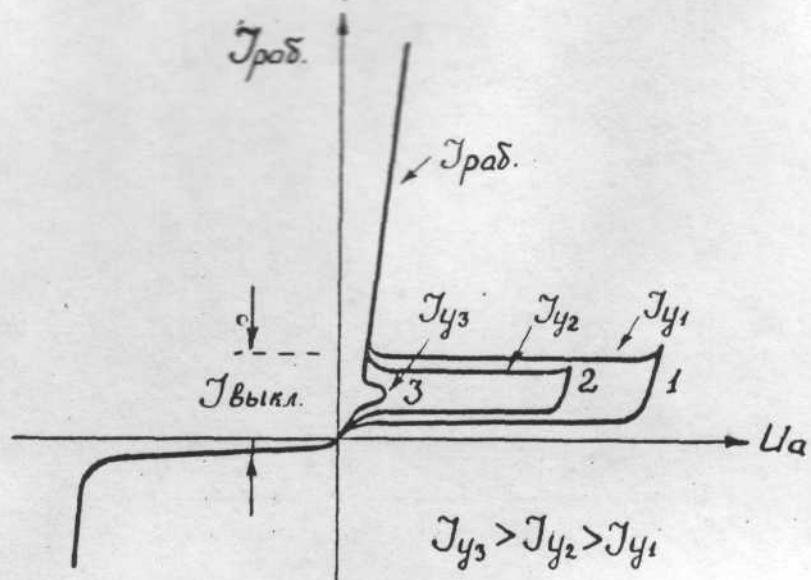


Рис. 2.6. Типовая вольтамперная характеристика тиристора.

Для того, чтобы закрыть тиристор, нужно снизить рабочий ток до величины, меньшей тока выключения ($I_{\text{выкл.}}$), или изменить полярность напряжения на аноде.

От момента подачи управляющего импульса до значительного увеличения рабочего тока проходит некоторое время, называемое временем задержки. Оно составляет микросекунды (или десятки микросекунд) и сильно зависит от температуры перехода.

§ 6. Анализ схемы первого каскада модулятора

Исходный режим

Сердечники дросселя Др1 и трансформаторов Тр2 и Тр3 намагничены отрицательно за счет остаточной индукции B_0 . Рабочие точки на характеристике намагничивания находятся в положении 1 (рис. 2.7).

Низковольтный накопитель разряжен.

← Тиристоры Д9, Д13 закрыты ($U_a = 0$, $U_y = 0$).

Динамика

✓ При срабатывании реле Р2-2 напряжение ~ 115 в 400 гц подается на первичную обмотку дросселя Др2. В отрицательный полупериод напряжения, возникающего на вторичной обмотке, происходит заряд низковольтного накопителя.

Ток заряда проходит по цепи: Др2 (9) ^{х/} → Тр2 (II-I2) → Тр4 (I-2) → Тр2 (7-9) → корпус → Тр3 (I-2) → СИ6-24 → Др1 (3-2) → Др2 (10).

х/ В скобках даны номера выводов обмоток с соблюдением направления тока.

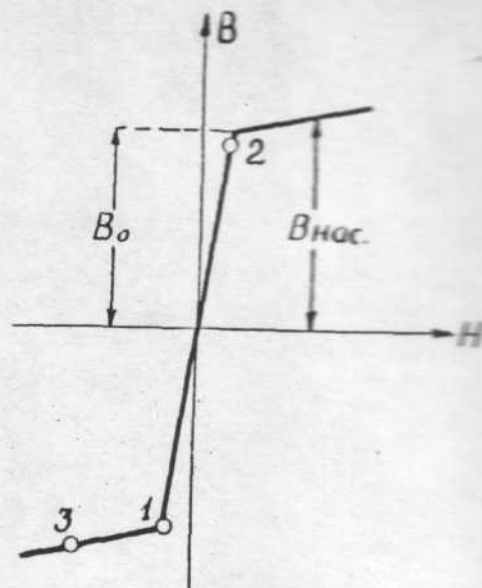


Рис. 2.7. Идеализированная характеристика намагничивания.

Под действием тока заряда происходит следующее:

- рабочие точки на характеристиках намагничивания дросселя ДрI и трансформатора Тр3 перемещаются по правой ветви из положения I в направлении к положению 3 (ток заряда мал, поэтому они не доходят до положения 3);
- конденсаторы низковольтного накопителя заряжаются ("плюс" - справа);
- ✓ - тиристоры остаются в закрытом состоянии, так как на анодах напряжение отрицательное, на управляющих электродах напряжение также отрицательное;
- магнитное состояние сердечника трансформатора Тр2 остается почти неизменным (мало витков, мал ток).

Как будет показано ниже, токи заряда и разряда низковольтного накопителя проходят через обмотки II-I2 и 7-9 трансформатора Тр2 для перематывания сердечника, т.е. для подготовки его к выдаче импульса.

Во второй полупериод питающего напряжения происходит перезаряд конденсаторов низковольтного накопителя (С16-24). Ток перезаряда проходит по цепи: Др2 (10) → ДрI (2-3) → С16-24 → Тр3 (2-1) → корпус → Тр2 (9-7) → Тр4 (2-1) → Тр2 (12-11) → Др2 (9).

Под действием тока перезаряда происходит следующее:

- рабочие точки на характеристиках намагничивания перемещаются в направлении к положению 2;
- конденсаторы низковольтного накопителя перезаряжаются ("плюс" - слева);
- ✓ - на анодах и управляющих электродах тиристоров появляется положительное напряжение, и они открываются;
- магнитное состояние сердечника трансформатора Тр2 пока не изменяется.

Следует помнить, что при резонансном перезаряде ток с каждым полупериодом увеличивается, следовательно, ток перезаряда во втором полупериоде больше тока заряда, существующего в первом полупериоде и напряжение на конденсаторе в конце периода равняется: $U_c = \rho \cdot n \cdot U_m$,

где U_m - амплитуда входного напряжения ($115 \text{ В} \times \sqrt{2} = 161 \text{ В}$);

n - коэффициент трансформации дросселя Др2 ($n = 1,25$);

ρ - коэффициент, зависящий от добротности контура. В нашем случае $\rho = 2,5$.

✓ Тиристоры Д9, Д13 открываются не сразу, а при определенной величине напряжения на анодах, т.е. когда напряжение на низковольтном накопителе достигнет определенного уровня (510 В).

Когда они открываются, возникает цепь разряда низковольтного накопителя. Ток разряда проходит по цепи: С16-24 → ДрI (3-1) → Д9, Д13 → Тр2 (7-9) → корпус → Тр3 (1-2) → С16-24.

В первой стадии разряда ток мал, так как сердечники дросселя ДрI и трансформатора Тр3 еще не достигли состояния насыщения.

✓ Задержка между моментом открытия тиристоров и возникновения насыщения сердечника (ДрI Тр3) значительно облегчает тепловой режим тиристоров, так как за это время проводящая область, возникающая вблизи управляющих электродов, успевает распространиться на большую часть структуры тиристоров.

Как только сердечник дросселя ДрI и трансформатора Тр3 перейдет в состояние отрицательного насыщения, возникнет основной ток разряда. В это время низковольтный накопитель (если пренебречь активными сопротивлениями обмоток и проходным сопротивлением тиристоров) оказы-

вается замкнут накоротко и ток разряда имеет максимальную величину.

Под действием основного тока разряда низковольтного накопителя происходит следующее:

- сердечник трансформатора $Tr3$ перемagnetивается, и в этот момент во вторичной обмотке возникает э.д.с., заряжающая высоковольтный накопитель (C15), и энергия, накопленная в электрическом поле низковольтного накопителя, переходит в электрическое поле высоковольтного накопителя;

- перемagnetивается сердечник трансформатора $Tr2$. Рабочая точка из положения I перемещается в положение 2.

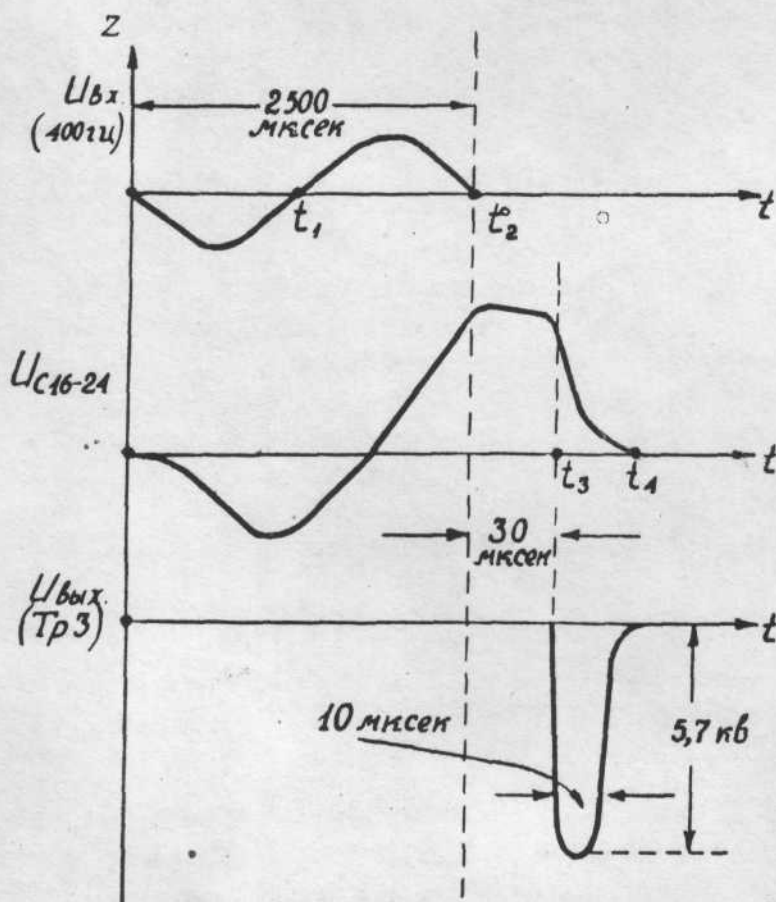


Рис. 2.8. Эпюры, поясняющие работу I каскада модулятора (справа от точки t_2 на оси времени масштаб увеличен).

На рисунке 2.8 приведены эпюры, поясняющие работу I каскада модулятора. На верхней строчке показано гармоническое напряжение, поступающее на вход и подлежащее преобразованию в импульсное.

На второй строчке показано напряжение на низковольтном накопителе. Мы видим, что от момента t_2 , когда напряжение достигает максимума, до момента t_3 , когда начинается основной разряд, проходит 30 мксек. За это время сердечник дросселя $Dr1$ и трансформатора $Tr3$ переходят в состояние насыщения и вся структура тиристоров становится проводящей, чем и обеспечивается максимальный ток разряда низковольтного накопителя.

На третьей строчке показан импульс э.д.с., возникающий во вторичной обмотке трансформатора $Tr3$ во время перемagnetивания сердечника. Этот импульс и является выходным импульсом I каскада.

§ 7. Анализ схемы второго каскада модулятора

Исходный режим:

- сердечник трансформатора $Tr2$ намагничен положительно за счет остаточной индукции B_0 ;
- конденсатор высоковольтного накопителя (C15) разряжен;
- в формирующей линии колебания отсутствуют.

Динамика

При разряде низковольтного накопителя во вторичной обмотке трансформатора $Tr3$ появляется э.д.с., под действием которой происходит заряд высоковольтного накопителя. Ток заряда

вается замкнут накоротко и ток разряда имеет максимальную величину.

Под действием основного тока разряда низковольтного накопителя происходит следующее:

- сердечник трансформатора $Tr3$ перемagnetивается, и в этот момент во вторичной обмотке возникает э.д.с., заряжающая высоковольтный накопитель (C15), и энергия, накопленная в электрическом поле низковольтного накопителя, переходит в электрическое поле высоковольтного накопителя;

- перемagnetивается сердечник трансформатора $Tr2$. Рабочая точка из положения I перемещается в положение 2.

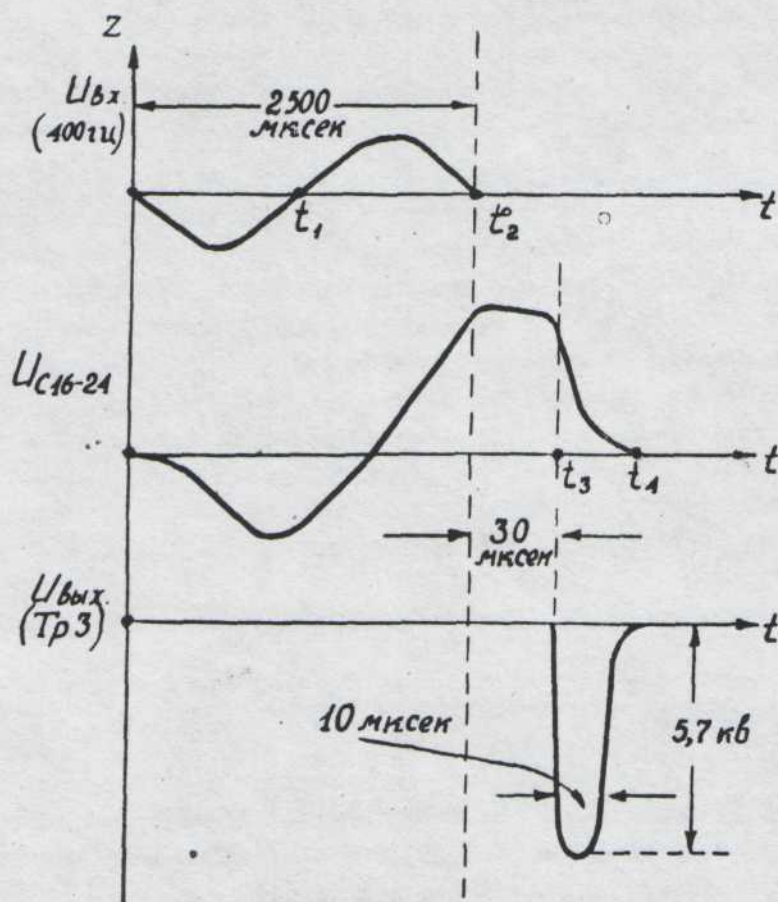


Рис. 2.8. Эпюры, поясняющие работу I каскада модулятора (справа от точки t_2 на оси времени масштаб увеличен).

На рисунке 2.8 приведены эпюры, поясняющие работу I каскада модулятора. На верхней строчке показано гармоническое напряжение, поступающее на вход и подлежащее преобразованию в импульсное.

На второй строчке показано напряжение на низковольтном накопителе. Мы видим, что от момента t_2 , когда напряжение достигает максимума, до момента t_3 , когда начинается основной разряд, проходит 30 мксек. За это время сердечники дросселя $Dr1$ и трансформатора $Tr3$ переходят в состояние насыщения и вся структура тиристоров становится проводящей, чем и обеспечивается максимальный ток разряда низковольтного накопителя.

На третьей строчке показан импульс э.д.с., возникающий во вторичной обмотке трансформатора $Tr3$ во время перемagnetивания сердечника. Этот импульс и является выходным импульсом I каскада.

§ 7. Анализ схемы второго каскада модулятора

Исходный режим:

- сердечник трансформатора $Tr2$ намагничен положительно за счет остаточной индукции B_0 ;
- конденсатор высоковольтного накопителя (C15) разряжен;
- в формирующей линии колебания отсутствуют.

Динамика

При разряде низковольтного накопителя во вторичной обмотке трансформатора $Tr3$ появляется э.д.с., под действием которой происходит заряд высоковольтного накопителя. Ток заряда

стояния, определяемые выбранным масштабом.

Чем больше плотность облачности, чем более крупными частицами она образована, чем больше турбулентность движения частиц в ней, тем больше коэффициент отражения, тем ярче отметка этой облачности на экране РЛС.

Облачность, неопасная для прохождения самолета, просматривается на экране в виде слегка освещенных зон, на фоне которых располагаются более яркие отметки опасных зон, границы которых в режиме "Метео" определить невозможно.

Таким образом, в режиме "Метео" можно лишь наблюдать общую метеообстановку на эшелоне полета, а при наклоне антенны вниз или вверх на несколько градусов можно заранее выбрать наиболее безопасный эшелон на случай необходимости обхода.

Горные вершины просматриваются на экране в виде ярких отметок, за которыми обычно располагаются тени, возникающие вследствие того, что участки местности, лежащие за вершиной, оказываются экранированными и не облучаются радиоволнами.

Если превышение самолета над вершинами достаточное (более 600 м), то отметка вершины, по мере приближения к ней самолета, перемещается к центру экрана, размеры ее уменьшаются, яркость ослабляется и, не доходя до первого 10-километрового кольца дальности, исчезает.

Исчезновение отметки вершин на расстоянии 10-12 км является признаком безопасного полета.

Если превышение самолета над вершиной недостаточное для безопасного полета, то отметка вершины входит в 10-километровое кольцо, расположенное вокруг центра экрана и экипаж обязан предпринять обходный маневр. Сказанное иллюстрируется рисунком 1.2.

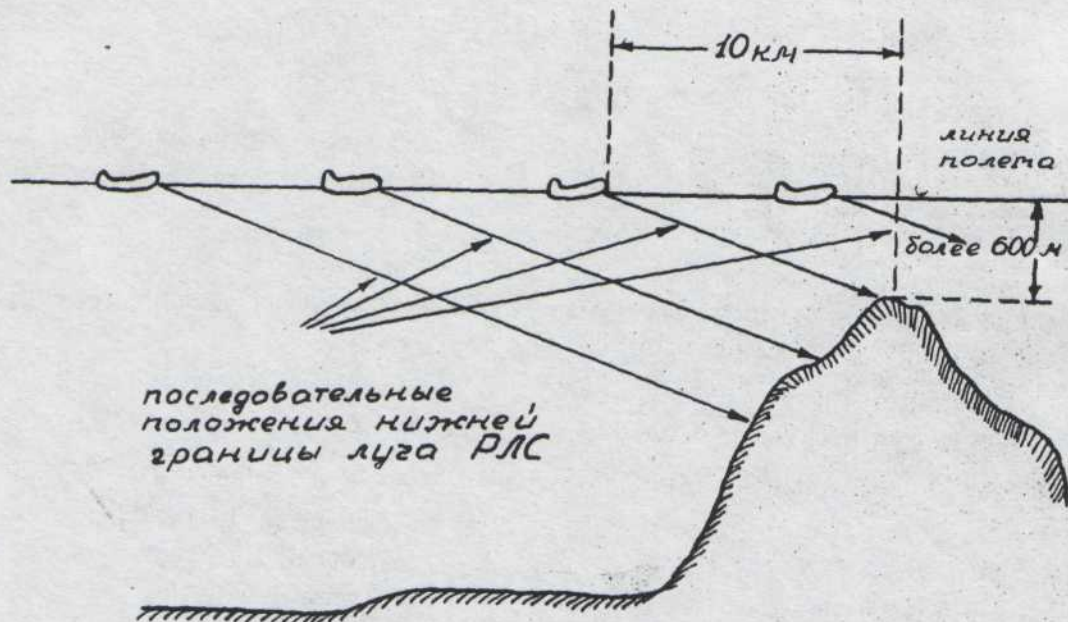


Рис. 1.2. Иллюстрация пропадания отражений от вершины при сближении.

Самолеты имеют небольшую эффективную отражающую поверхность (особенно на встречных курсах), поэтому обнаруживаются на небольших расстояниях: 10 - 15 км.

Чтобы исключить ослабление отметок самолетов и горных вершин под действием импульса ВАРУ, схема ВАРУ в режиме "Метео" не работает.

Режим "Контур". Предназначается для выделения зон облачности, опасных для прохождения

самолета. Возможность выделения опасных зон основана на том, что интенсивность сигнала, отраженного от них, значительно больше, чем интенсивность сигнала, отраженного от неопасных зон.

Используемый метод выделения опасных зон называется методом контурной индикации или "Изо-эхо".

В схеме видеоусилителя сильные сигналы, соответствующие опасным зонам, подавляются и на их месте появляются темные контуры, контрастно выделяющиеся на светлом фоне, образованном отражениями от неопасных зон (рис. I.3).

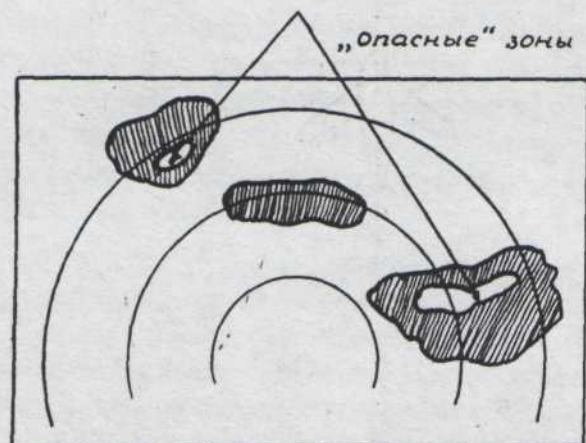


Рис. I.3. Выделение опасных зон в режиме "Контур".

Граница темного контура представляет собой кривую равных по интенсивности отраженных сигналов, т.е. эхо-сигналов. Слово "изо" означает "равный", и под сочетанием слов "изо-эхо" принято понимать линию равных эхо-сигналов (по аналогии с общеизвестными в технике линиями "изотерма", "изобара" и т.д.).

В режиме "Контур" используется узкая диаграмма направленности. Включается схема ВАРУ, исключающая возможность ошибочной оценки близкой неопасной облачности, дающей сильный отраженный сигнал из-за близости, как опасной.

Регулятор "Контраст" из схемы отключается, и для выделения опасных зон при переходе из режима "Метео" в режим "Контур" никаких регулировок не требуется.

Режим "Снос". Для определения угла сноса используется метод "остановленной антенны", основанный на том, что при совпадении оси диаграммы направленности с направлением фактического пути самолета, т.е. с направлением вектора путевой скорости, вторичные доплеровские частоты оказываются минимальными.

Как известно, эффект Доплера^{х/} заключается в том, что частота принятого отраженного сигнала отличается от частоты передатчика, перемещающегося со скоростью W относительно отражающей площадки. Приращение частоты, происходящее в этом случае, называется частотой Доплера и определяется по формуле:

$$F_D = f_0 \frac{2W'}{C},$$

где F_D - доплеровская частота;

f_0 - частота магнетрона;

C - скорость распространения радиоволн;

W' - скорость приближения самолета к отражающей площадке ($W' = W \cdot \cos \theta \cdot \cos \beta$, где θ и β углы, заключенные между вектором путевой скорости W и направлением излучения на отражающую площадку, рис. I.4).

Под вторичной доплеровской частотой ($F_{\text{втор}}$) понимается разностная частота, возникающая при сравнении двух сигналов, отраженных от разных участков местности. Возникновение вторичной доплеровской частоты поясняется на рисунке I.5.

Диаграмма направленности упирается в землю в пределах дуги $a-\delta$. Самолет приближается к точке "а" со скоростью W' , а к точке "б" со скоростью W'' . Так как скорости

^{х/} Христиан Допплер, австрийский физик (1803 - 1853 гг.), работавший в области звуковых частот и открывший эффект, названный его именем.

W' и W'' не равны, то частоты сигналов, отраженных от точек "а" и "б" (обозначим их f_a и f_b), также не будут равны. Между ними возникает биение, и детектор выделяет разностную частоту, которая и есть вторичная доплеровская частота:

$$F_{\text{втор.}} = f_a - f_b.$$

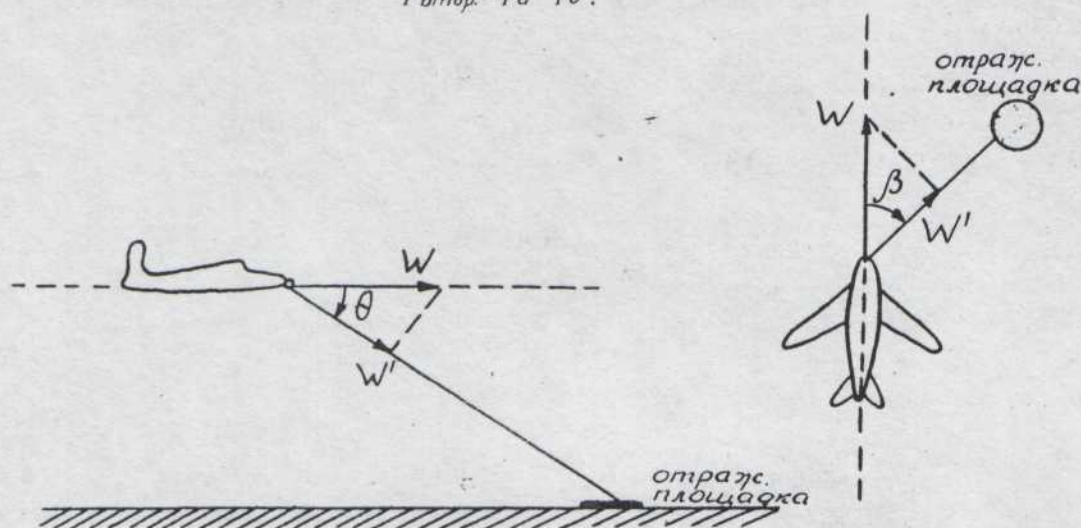


Рис. I.4. К пояснению углов θ и β .

Напряжение вторичной доплеровской частоты усиливается видеоусилителем и модулирует электронный луч, поэтому на линии развертки, возникающей при остановленной антенне, появляются яркие блески,двигающиеся вдоль линии развертки в том или в другом направлении.

Если, в нашем случае (рис. I.5), начать поворачивать антенну по часовой стрелке, то, когда диаграмма направленности расположится симметрично относительно вектора путевой скорости, составляющие путевой скорости W' и W'' будут равны и вторичная доплеровская частота, на первый взгляд, должна стать равной нулю. Но на самом деле отражение происходит не только от точек "а" и "б", но и от всех промежуточных точек, поэтому вторичная доплеровская частота не равняется нулю, но имеет минимальное значение. При этом частота и скорость движения блесков также становятся минимальными, что при некотором навыке и достаточно медленном повороте антенны легко обнаруживается оператором.

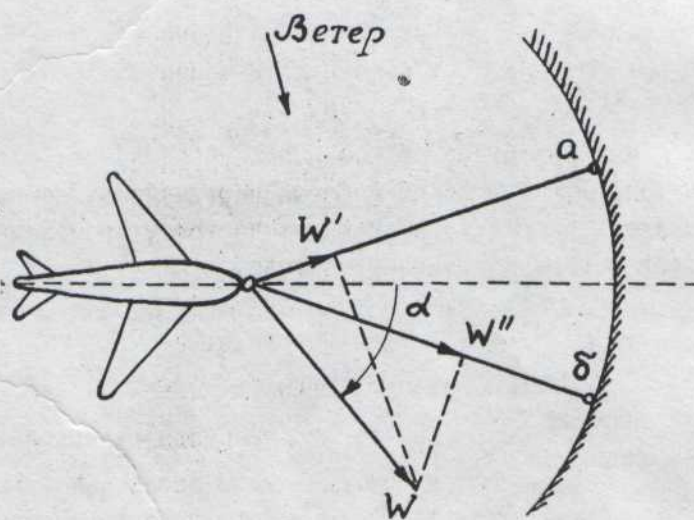


Рис. I.5. К определению угла сноса.

Таким образом, по минимуму вторичных доплеровских частот определяется направление вектора путевой скорости, а угол, на который для этого пришлось повернуть антенну, и есть угол сноса.

Напоминаем, что углом сноса " α " называется угол, заключенный между продольной осью самолета и направлением линии фактического пути, т.е. вектора путевой скорости.

Угол сноса отсчитывается по азимутальной шкале индикатора, которая в пределах $\pm 20^\circ$ от

нулевого отсчета отградуирована через каждый градус, а оцифровка нанесена через 2° .

Следует иметь в виду, что блески обнаруживаются только тогда, когда ось диаграммы направленности почти совпадает с направлением вектора путевой скорости, а при удалении от него вторичная доплеровская частота оказывается столь большой, что глаз блески не обнаруживает.

В режиме "Снос" на масштабах 30, 50 и 125 км используется веерная диаграмма направленности. Это обеспечивает движение блесков по всей линии развертки, а не на отдельном ее участке, что наблюдалось бы при использовании узкой диаграммы направленности.

При переходе в режим "Снос" антенна останавливается в произвольном положении и включается ручное управление поворотом антенны при помощи нажимных клавиш. Скорость поворота антенны регулируется потенциометром, ось которого связана с рукояткой "Контраст" (потенциометр "Контраст" в режиме "Снос" от схемы отключается).

§ 6. Функциональная схема

На рисунке 1.6 приведена функциональная схема РЛС. Она представляет собой совокупность функциональных схем отдельных каналов. Как и другие самолетные радиолокаторы, РЛС "Гроза" имеет следующие каналы:

- передающий канал;
- приемный канал;
- канал АПЧ (система АПЧ);
- канал синхронизации (в него входит канал формирования масштабных меток);
- канал развертки;
- канал стабилизации и управления антенной.

Для изучения каждого канала отводится отдельная глава, в начале которой приводится и рассматривается более подробная функциональная схема канала или отдельных узлов, входящих в него. Поэтому ниже дается лишь краткое описание функциональной схемы, необходимое для первого знакомства с РЛС, чтобы сложилось правильное представление о ее работе.

При выборе любого режима, кроме режима "Готовность", напряжение ~ 115 в через схему времени, создающую задержку на 4 минуты, подается на вход схемы магнитного модулятора, состоящего из двух сжимающих каскадов. Первый каскад преобразует гармоническое напряжение в импульсное. В емкостном накопителе происходит накопление энергии, а затем с помощью магнитного и тиристорного ключей обеспечивается быстрый разряд накопителя. Ток разряда, имеющий форму импульса, проходит через первичную обмотку трансформатора, и во вторичной обмотке возникает Э.Д.С., заряжающая накопитель энергии второго сжимающего каскада. Когда напряжение на нем достигает определенной величины, срабатывает магнитный ключ, и во время разряда накопителя второго каскада возникает импульс высокого напряжения заданной длительности, поступающий на магнетрон. Магнетрон создает СВЧ-колебания, которые по волноводному тракту, в виде бегущей волны электромагнитного поля, передаются в антенну и излучаются ею в пределах узкой или веерной диаграммы направленности.

Одновременно с импульсом, питающим магнетрон, во втором сжимающем каскаде возникает старт-импульс, запускающий синхронизатор и схему ВАРУ.

Энергия, отраженная от земной поверхности (или от различных гидрообразований в атмосфере), воспринимается антенной и по волноводному тракту через вращающееся сочленение, циркуляторы и погашенный разрядник защиты приемника попадает в балансный смеситель УПЧ. К баланвному смесителю подводится также СВЧ - энергия ЛОВ, используемой в качестве гетеродина.

проходит по цепи: $Tr3(3) \rightarrow CI5 \rightarrow Tr2(2-I) \rightarrow$ формирующая линия $\rightarrow Tr3(4)$.

Под действием тока заряда происходит следующее:

- высоковольтный накопитель заряжается и напряжение на нем в конце заряда составляет 5,7 кВ;
- в формирующей линии возникают собственные колебания, препятствующие нарастанию тока заряда;
- сердечник трансформатора $Tr2$ дополнительно положительно намагничивается и переходит в состояние насыщения.

Как только импульс, заряжающий высоковольтный накопитель, закончится, возникнет его разряд. Ток разряда проходит по цепи тока заряда, но в противоположном направлении.

Во время разряда высоковольтного накопителя происходит следующее:

- полярность собственных колебаний формирующей линии изменяется и напряжение, существующее на ней, складывается с напряжением высоковольтного накопителя, вследствие чего разряд ускоряется и форма тока разряда улучшается;

- перемагничивается сердечник трансформатора $Tr3$, т.е. возвращается в исходное состояние;

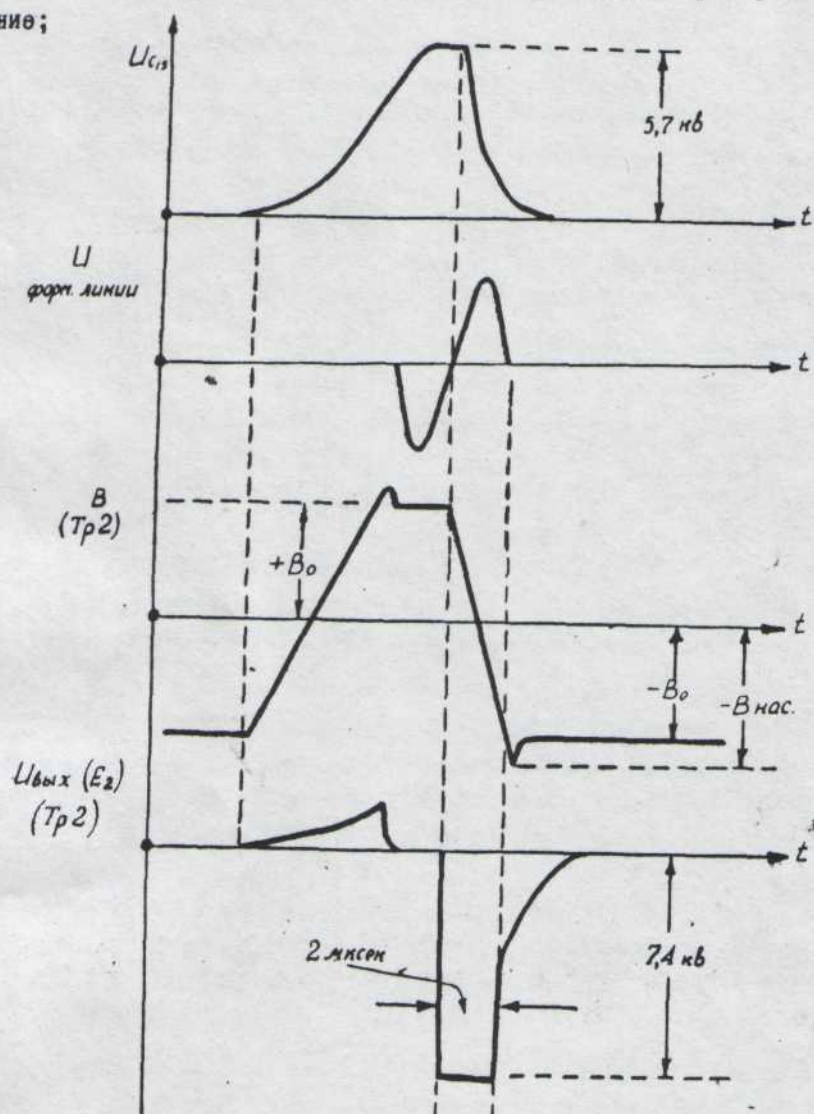


Рис.2.9. Эпюры, поясняющие работу II каскада модулятора.

- перемагничивается сердечник трансформатора $Tr2$ и во вторичных обмотках (4-3 и 5-6) возникает импульс высокого напряжения (7,4 кВ) отрицательной полярности с длительностью 2 мксек, поступающий на катод магнетрона.

На рисунке 2.9 приведены эпюры, поясняющие работу II каскада модулятора. На верхней строчке показан импульс напряжения, возникающий на высоковольтном накопителе. Левый фронт соответствует заряду, а правый - разряду. Как только заряд заканчивается, начинается разряд.

На второй строчке показано напряжение собственных колебаний формирующей линии. Важно, что при разряде высоковольтного накопителя полярность напряжения на формирующей линии совпадает с полярностью напряжения высоковольтного накопителя, благодаря чему резко увеличивается крутизна фронтов выходного импульса.

На третьей строчке показано изменение магнитной индукции сердечника трансформатора $Tr2$.

Известно, что э.д.с. (E2),

возникающая во вторичной обмотке трансформатора, пропорциональна скорости перемагничивания сердечника, т.е. $E_2 \equiv \frac{dB}{dt}$.

В нашем случае за время разряда высоковольтного накопителя индукция изменяется от $+B_0$ до $-B_{нас}$, поэтому амплитуда э.д.с. E_2 оказывается большой.

На нижней строчке показана форма э.д.с. E_2 . Спрямление вершины возникает при появлении тока магнетрона.

Приведенный выше анализ работы модулятора дает упрощенную картину. На самом деле происходят более сложные процессы, требующие более громоздкого анализа. Для лиц, желающих глубже изучить работу магнитных модуляторов, может быть рекомендована книга И.С. Гарбер "Магнитные импульсные модуляторы", изд. "Советское радио", 1964 г.

§ 8. Формирование старт-импульсов

В модуляторе создаются старт-импульсы, с помощью которых синхронизируется работа отдельных узлов РЛС. Для получения старт-импульсов на трансформаторе Тр2 имеется специальная обмотка (7, 8, 9, 10) с заземленной средней точкой (вывод 9), симметричной относительно выводов 8-10.

На выводе 8 возникают импульсы положительной полярности, которые подаются на делитель R_{16} , R_{17} , R_{18} . Амплитуда импульсов, возникающих на резисторах R_{17} , R_{18} , составляет +45 в.

На выводе 10 возникают импульсы отрицательной полярности, которые подаются на делитель R_{13} , $R_{14,23}$, R_{15} .

С резисторов $R_{14,23}$, R_{15} снимаются импульсы с амплитудой -45 в.

С резистора R_{13} снимаются импульсы с амплитудой -6 в, которые используются:

- для запуска синхронизатора, выдающего импульсы запуска развертки, импульсы подсвета и импульсы масштабных меток;

- для запуска схемы ВАРУ и для бланкирования транзисторов ПУПЧ на время существования импульсов передатчика.

Старт-импульсы положительной и отрицательной полярности с амплитудой 45 в используются для бланкирования другой самолетной радиоаппаратуры, на которую импульсы передатчика РЛС оказывают мешающее действие.

Длительность старт-импульсов равна длительности выходных импульсов модулятора (2 мксек), частота повторения - 400 гц.

§ 9. Схема питания магнетрона

В РЛС "Гроза" используется новый магнетрон типа "Болеро", создающий колебания с частотой 1000 мГц. Средняя мощность колебаний магнетрона ($P_{ср.}$) составляет не менее 8 вт, что при скважности $Q = 1250$ позволяет получить мощность в импульсе ($P_{и.}$) порядка 10 квт ($P_{и.} = P_{ср.} \cdot Q$).

Напряжение накала 6,3 в. В отличие от схем других РЛС при включении высокого напряжения накал не снижается, и при этом перегрев катода магнетрона не наблюдается, что, очевидно, объясняется сравнительно малой мощностью магнетрона.

Выходной трансформатор модулятора Тр2 имеет специальную конструкцию. Вторичная обмотка трансформатора, через которую, кроме анодного тока магнетрона, проходит ток накала, состоит из двух частей, намотанных бифилярно, благодаря чему ток накала не создает магнитного потока

в сердечнике, что нарушило бы нормальную работу модулятора.

Трансформатор накала Tr5 - обычный низковольтный трансформатор. На выводах накальной обмотки высокое напряжение отсутствует, что объясняется симметричностью схемы.

Когда в обмотках 4-3, 6-5 трансформатора Tr2 существуют импульсы высокого напряжения, возникает анодный ток магнетрона, который проходит по двум цепям:

-первая цепь: Tr2 (3) $\rightarrow$ CI3 $\rightarrow$ корпус $\rightarrow$ анод-катод магнетрона $\rightarrow$ нить накала $\rightarrow$ Tr2 (4);

-вторая цепь: Tr2 (5) $\rightarrow$ CI4 $\rightarrow$ корпус $\rightarrow$ анод-катод магнетрона $\rightarrow$ Tr2 (6).

Как следует из сказанного, часть анодного тока магнетрона проходит через нить накала, однако это не влияет на температуру катода, так как средний ток магнетрона очень мал по сравнению с током накала.

Под действием импульсов анодного тока конденсаторы CI4, CI3 заряжаются, а во время интервалов - разряжаются через резистор R_{10} , на котором возникает падение напряжения, пропорциональное среднему току магнетрона. Резистор R_{10} является измерительным: при подключении к РЛС пульта контроля падение напряжения с резистора R_{10} подается на прибор "Контроль" для измерения тока магнетрона.

Высокочастотные колебания, созданные магнетроном, по волноводному тракту передаются в антенну и излучаются ею.

§ 10. Волноводный тракт и антенный переключатель

Волноводный тракт предназначается для передачи СВЧ-колебаний, генерируемых магнетроном, в антенну и колебаний, воспринятых антенной (после отражения от облачности, от земной поверхности и т.д.), - к приемнику.

Элементы волноводного тракта расположены в блоках ГР2Р и ГР1У. Волновод, соединяющий блок ГР2Р с блоком ГР1У, условно назван блоком ГР32.

Волноводный тракт проходит из герметизированного отсека самолета, где установлен блок ГР2Р, в негерметизированную носовую часть, где установлена антенна (ГР1У). В поперечном сечении волноводного гермопроходника установлена сдвигная перегородка, обеспечивающая в волноводе, примыкающем к блоку ГР2Р (до гермопроходника), то давление, которое существует в гермоотсеке.

Герметизация части волновода исключает "утечку" давления из гермоотсека и возникновение конденсата в волноводе, неизбежного вследствие разности температур, существующих в герметизированном и носовом отсеках.

Во избежание возникновения механических напряжений при вибрации в волноводный тракт введена гибкая эластичная секция.

Элементы волноводного тракта, находящиеся в блоке ГР2Р, входят в состав СВЧ-головки и работа их разобрана ниже (глава 3, § 2). Исключение представляет антенный переключатель, выполненный на циркуляторах, работа которого рассматривается в настоящей главе.

В качестве основного волновода используется волновод прямоугольного сечения со стандартными размерами 23 x 10 мм. В нем устанавливается магнитная волна типа H_{10} .

Во вращающемся сочленении азимута используется круглый волновод с электрической волной типа E_{01} , имеющей круговую симметрию.

Во вращателе плоскости поляризации волны используется также круглый волновод, но с магнитной волной типа H_{11} .

Коэффициент стоячей волны (КСВ) всего волноводного тракта не превышает 1,4, что обеспечивает минимум потерь в волноводе.

Антенный переключатель выполняет три функции:

- при работе на передачу закрывает вход приемника, что необходимо для защиты кристаллов балансного смесителя от выгорания;
- при работе на прием блокирует магнетрон, чем обеспечивается передача всей принятой антенной энергии к балансному смесителю;
- при работе на передачу часть энергии магнетрона, вследствие недостаточности согласования, отражается от входа антенны.

Антенный переключатель эту энергию направляет в поглотительный элемент, где она превращается в тепло. Если бы эта энергия попала к магнетрону, то ухудшился бы процесс группирования электронов и мощность колебаний магнетрона уменьшилась.

Если бы она, отразившись от закрытого входа приемника, вновь попала в антенну, то вызвала бы увеличение длительности импульса и разрешающая способность РЛС ухудшилась бы.

В антенном переключателе используются малогабаритные циркуляторы мостового типа, имеющие три входа.

Циркулятором называется волноводный разветвитель, связывающий несколько каналов и обеспечивающий передачу энергии только в одном направлении: из одного канала - в следующий, соседний.

Указанные выше функции антенного переключателя один циркулятор выполнить не может, так как имеет только три входа, а необходимы четыре входа, к которым должны быть подключены: магнетрон, антенна, вход приемника и поглотительный элемент. Поэтому в составе антенного переключателя используются два циркулятора.

Циркулятор мостового типа представляет собой волноводный разветвитель, в котором размещен намагниченный ферритовый стержень, имеющий форму цилиндра.

Наличие намагниченного феррита придает разветвителю невзаимные свойства и обеспечивает передачу энергии только от первого входа ко второму, от второго - к третьему, от третьего - к первому.

На рисунке 2.10а показан мостовой Y-образный циркулятор, в котором используется волноводное разветвление в плоскости H . По оси симметрии циркулятора расположен ферритовый стержень, намагниченный вдоль своей оси.

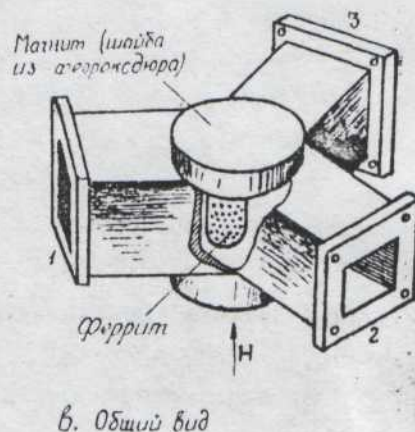
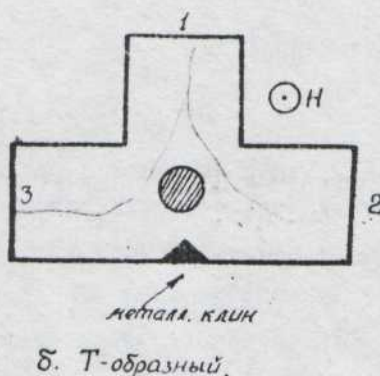
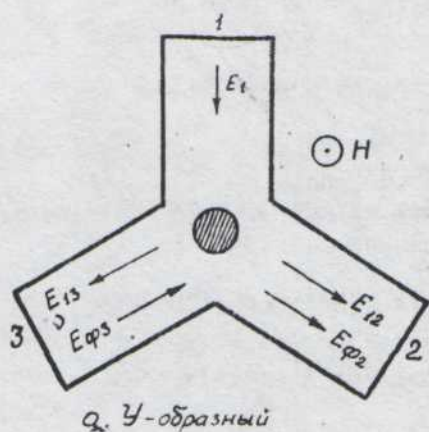


Рис. 2.10. Мостовые циркуляторы.

Известно, что при отсутствии феррита волна, поступающая в канал I разветвителя, делится поровну между каналами 2 и 3.

При наличии намагниченного феррита поля, возникающие в каналах 2 и 3, являются результатом сложения двух полей: первичных (E_{I2} и E_{I3}) и переизлученных ферритом ($E_{\varphi 2}$ и $E_{\varphi 3}$).

Первичные поля, в силу симметрии системы, синфазны и равны по амплитуде. Амплитуда и фаза вторичных полей зависят от размеров и параметров намагниченного феррита. Можно эти величины выбрать так, чтобы поля E_{I2} и $E_{\varphi 2}$ в канале 2 были синфазны, а поля E_{I3} и $E_{\varphi 3}$ в канале 3 — противофазны. Если, кроме того, обеспечивается равенство этих полей по амплитуде, то энергия волны из канала I будет полностью передаваться в канал 2.

Очевидно, что при симметрии системы волна из канала 2 будет попадать в канал 3, а из канала 3 — в канал I.

Таким образом, рассматриваемый разветвитель будет представлять собой циркулятор, пропускающий волны в направлении каналов $I \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow I$.

При изменении направления намагничивающего поля на противоположное волны будут проходить через циркулятор в обратном порядке ($I \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow I$).

В Т-образном циркуляторе симметрия достигается с помощью металлического клина (рис. 2.10б), обеспечивающего одинаковый КСВ со стороны любого канала.

На рисунке 2.11 приведены кривые, характеризующие затухание в направлениях I-2 и I-3, при рассмотрении которых видно, что развязка между каналами I-3 велика (около 30 дБ) и потери в прямом направлении малы (порядка 0,2 дБ).

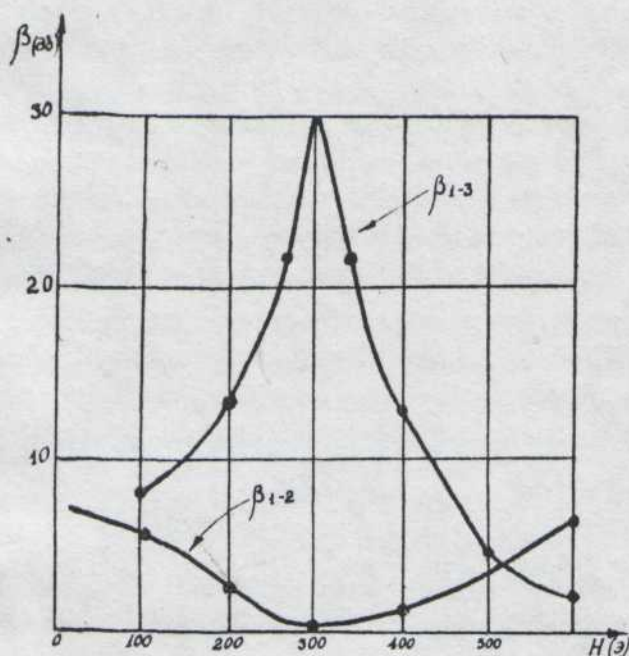


Рис. 2.11. Типовые зависимости затухания в циркуляторах от напряженности магнитного поля.

На рисунке 2.12 дано схематическое изображение антенного переключателя, образованного двумя Т-образными циркуляторами, в которых ферритовые стержни намагничены противоположно. В циркуляторе ЭИ2 передача энергии происходит по закону: $I \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow I$, а в циркуляторе ЭИ4 — по противоположному закону: $I \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow I$.

Работает антенный переключатель следующим образом: при передаче СВЧ-энергия магнетрона, присоединенного к каналу I циркулятора ЭИ2, попадает в канал 2 и передается в канал 3 циркулятора ЭИ4. Из канала 3 через канал 2 она попадает в антенну и излучается ею.

К балансному смесителю энергия магнетрона попадает с большим ослаблением, так как развязка между каналами 3 и I циркулятора ЭИ4 велика (30 дБ).

Мощность магнетрона в импульсе составляет 10 квт, после ослабления в циркуляторе ЭИ4 на 30 дБ она составит 10 вт, что значительно превышает допустимую импульсную мощность кристаллов Д405Б (80 мвт). Следовательно, циркулятор не обеспечивает достаточной защиты кристаллов и поэтому приходится применять разрядник защиты приемника (РЗП, гл. 3, § 2).

При работе на прием СВЧ-энергия от антенны через каналы 2-I циркулятора ЭИ4 и через по-

гашенный разрядник попадает в балансный смеситель.

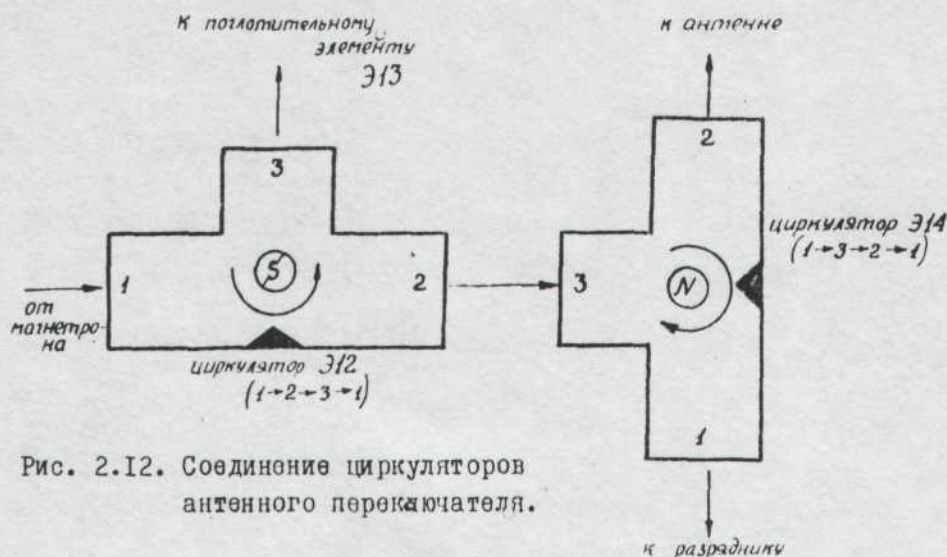


Рис. 2.12. Соединение циркуляторов антенного переключателя.

К магнетрону принятая энергия попасть не может вследствие большого затухания между каналами 2-3 (ЭИ4) и 2-1 (ЭИ2).

Энергия магнетрона, отраженная от входа антенны вследствие недостаточности согласования, проходит по приемному тракту до РЭИ и ионизирует его. Волновод оказывается замкнутым малым сопротивлением ионизированного разрядника, что вызывает отражение, и волна из канала 1 попадает в канал 3 циркулятора ЭИ4 и далее передается через канал 2 циркулятора ЭИ2 в канал 3, к которому присоединен поглотительный элемент ЭИ3, превращающий СВЧ-энергию в тепловую.

§ II. Общие сведения об антенне

В состав РЛС "Гроза-40" входит антенна с диаметром отражателя 560 мм. Антенна может создавать или узкую диаграмму направленности, или веерную - типа косеканс-квадрат.

Переход с одной диаграммы направленности на другую осуществляется автоматически переключателями "Режимы" и "Км" (блок ГР4В).

Конструкция антенны-облегченная. Она весит всего 8,7 кг. Антенна рассчитана на установку в носовой части самолета. Доступ к ней открывается при подъеме носового обтекателя, выполненного из прозрачного для радиоволн материала.

Антенна во всех режимах, кроме режима "Снос", сканирует в горизонтальной плоскости на угол $\pm 100^\circ$ относительно продольной оси самолета.

Скорость сканирования - 23 полных цикла в минуту. Полный цикл соответствует повороту антенны на 400° (из крайнего левого положения в крайнее правое - 200° и обратно - 200° , всего - 400°).

В режиме "Снос" используется ручное управление поворотом антенны, причем скорость поворота можно регулировать потенциометром, который насажен на ось рукоятки "Контраст".

Предусмотрена возможность наклона диаграммы направленности антенны относительно исходного положения на угол $\pm 20^\circ$.

Наклон диаграммы достигается путем наклона отражателя относительно неподвижного облучателя, причем углу наклона отражателя θ соответствует угол наклона диаграммы $K\theta$ ($K = 1,88$).

Во всех режимах плоскость "обзора" антенны стабилизируется с помощью специальной схемы, что обеспечивает постоянство радиолокационного изображения при эволюциях самолета.

Сигналы тангажа и крена вводятся в схему стабилизации от авиагоризонта АГБ-ЗК.

Важной особенностью конструкции антенны является то, что ротор двигателя азимута вращается только в одну сторону, а реверс антенны осуществляется с помощью кривошипного механизма. Такая конструкция, благодаря отсутствию электрических переключателей-ограничителей, повышает надежность всего узла азимутального вращения антенны.

Так как при наклоне антенны облучатель остается неподвижным (наклоняется отражатель относительно облучателя), волноводный тракт имеет только одно вращающееся сочленение азимута, что улучшает КСВ.

На корпусе антенны расположены:

- двигатель азимута МІ-І (ДКИ-6-І2ТВ) и механически связанные с ним:
 - решающий вращающийся трансформатор схемы стабилизации МІ-2 (ЗВТ-2ТВ);
 - вращающийся трансформатор канала развертки МІ-3 (6ВТИ-2ТВ);
 - кулачковый механизм коммутации диаграмм направленности ВІ-І;
- двигатель наклона МІ-5 (ДКИ-6-І2ТВ) и механически связанные с ним:
 - тахогенератор МІ-6 (ТПП-6);
 - вращающийся трансформатор отработки схемы стабилизации и наклона МІ-4 (ЗВТ-2ТВ).

§ 12. Диаграммы направленности антенны

В зависимости от режима работы РЛС и выбранного масштаба предусмотрено использование узкой диаграммы направленности или веерной, типа косеканс-квадрат, или их поочередное использование при разных направлениях движения антенны.

В режимах "Метео" и "Контур" на всех масштабах используется узкая диаграмма направленности.

В режимах "Земля" и "Снос" на масштабах 30, 50 и 125 км используется веерная диаграмма направленности. На масштабе 250 км диаграммы направленности используются поочередно: при движении антенны по часовой стрелке - веерная диаграмма, а при движении против часовой стрелки - узкая. На масштабе 200-375 км используется только узкая диаграмма направленности.

В режиме "Готовность" включена узкая диаграмма направленности.

На рисунке 2.13 в полярной системе координат показаны узкая и веерная диаграммы направленности.

Ось узкой диаграммы направленности наклонена вниз относительно оси излучателя на угол $\theta_1 = 2^\circ 15'$. Ось веерной диаграммы смещена вниз относительно оси узкой диаграммы на угол $\theta_2 = 1^\circ 15'$, что обеспечивает наилучшее их перекрытие при поочередном использовании на масштабе 250 км.

Относительно оси излучателя ось веерной диаграммы наклонена вниз на суммарный угол $(\theta_1 + \theta_2 = 3^\circ 30')$, обеспечивающий получение оптимального изображения при высоте полета $H \approx 7$ км.

Такое расположение диаграмм направленности принимается за исходное, и отсчет текущего угла наклона θ ведется от указанных на рисунке 2.13 исходных углов наклона, которые принимаются за нуль угла наклона.

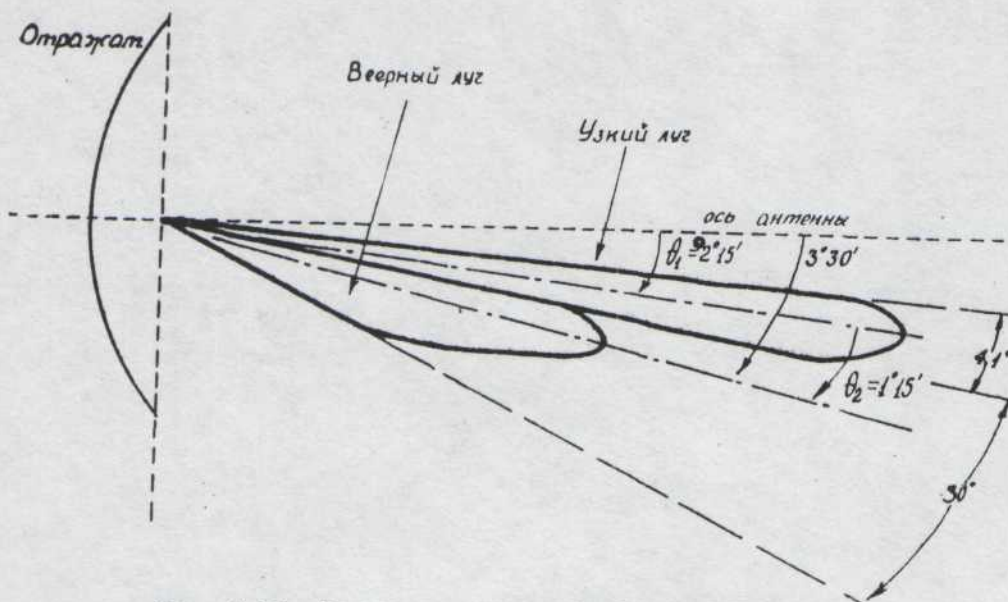


Рис. 2.13. Диаграммы направленности антенны.

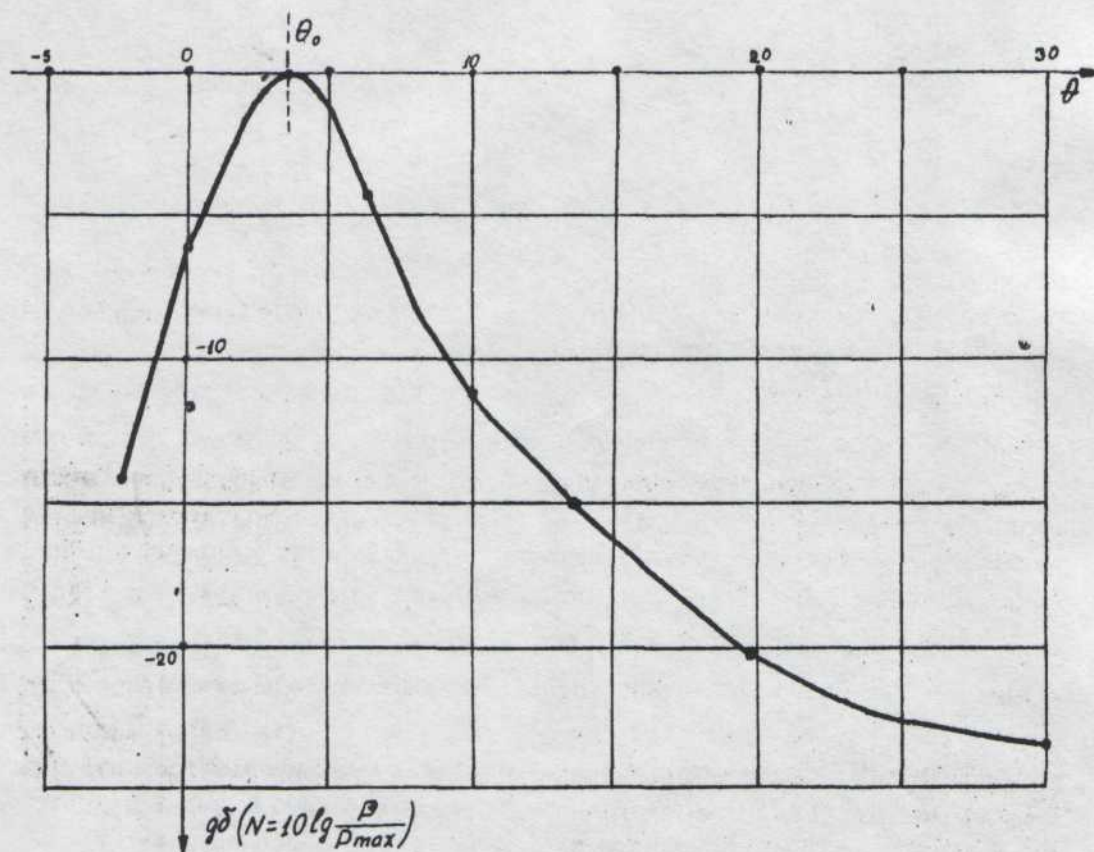


Рис. 2.14. Всепная диаграмма направленности в прямоугольной системе координат. (Эталонная кривая).

На рисунке 2.14 в прямоугольной системе координат приведена всепная диаграмма направленности в вертикальной плоскости. Она показывает, на сколько децибел мощность, излучаемая антенной в различных направлениях, меньше максимальной мощности, излучаемой в направлении θ_0 . Так, например, под углом $\theta = 20^\circ$ излучаемая мощность меньше максимальной на 20 дБ, т.е. в 100 раз (на рисунке 2.14 отсчет углов θ ведется от оси антенны, а не от направления максимума).

На рисунке 2.15 (также в прямоугольной системе координат) приведена узкая диаграмма направленности. Как видно из рисунка, на уровне 50% мощности (ослабление 3 дБ) ширина диаграммы составляет около 4° . Кроме основного излучения, диаграмма имеет боковые лепестки, которые расположены под углами -4° , $+7^\circ$, $+9^\circ$ к основному излучению. Мощность боковых лепестков значительно меньше мощности основного излучения, поэтому они не влияют на качество изображения.

Использование узкой диаграммы позволяет совершать обзор в плоскости полета, что дает возможность наблюдать метеообстановку и препятствия непосредственно на пути самолета.

Кроме того, использование узкой диаграммы на крупных масштабах (30, 50, 125 км) исключает попадание на экран отражений от земной поверхности, которые при высоте полета $H = 7$ км (без наклона антенны) обнаруживаются только на масштабе 250 км.

Коэффициент усиления антенны при узкой диаграмме ($G = 1200$) значительно больше коэффициента усиления при веерной диаграмме ($G = 600$), что позволяет обнаруживать грозовые зоны или другие препятствия на больших расстояниях.

Веерная диаграмма направленности типа косеканс-квадрат исключает зависимость количества принятой энергии от расстояния до отражающей поверхности. Таким образом, количество принятой энергии зависит только от свойств поверхности отражать радиоволны, т.е. от коэффициента отражения, что и требуется для получения оптимального радиолокационного изображения.

Веерная диаграмма направленности позволяет "просматривать" значительные участки местности (по дальности) без качания антенны в вертикальной плоскости.

Поочередное использование диаграмм направленности увеличивает дальность обнаружения наземных целей, так как узкая диаграмма направленности дополняет веерную.

На масштабе 200–375 км использование веерной диаграммы не имеет смысла, так как узкий луч "облучает" землю, начиная с расстояния 200 км, и в энергетическом отношении целесообразней использовать его.

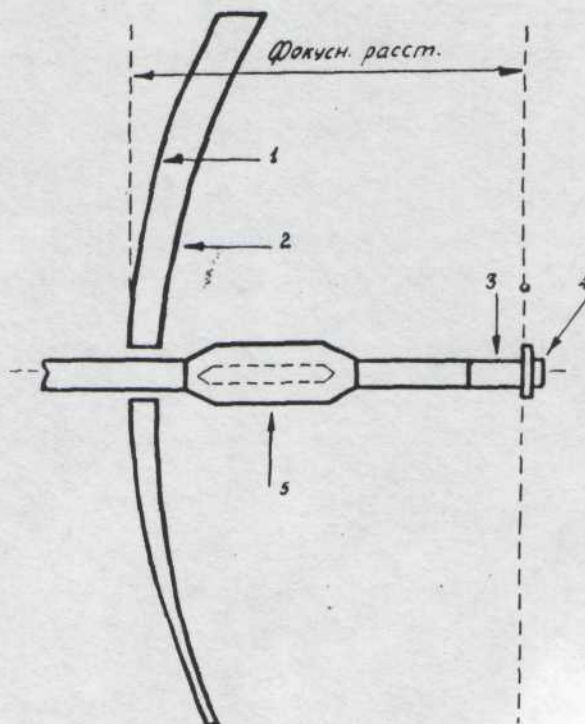


Рис. 2.15. Узкая диаграмма направленности в прямоугольной системе координат. См. рис. 2.16.

§ 13. Устройство антенны

На рисунке 2.16 дано схематическое изображение антенны, поясняющее ее устройство. Антенна состоит из следующих элементов:

- параболического отражателя (1);
- веерного отражателя специального профиля (2);
- диэлектрического излучателя (3);
- контр-отражателя (4);
- вращателя плоскости поляризации волны (5).

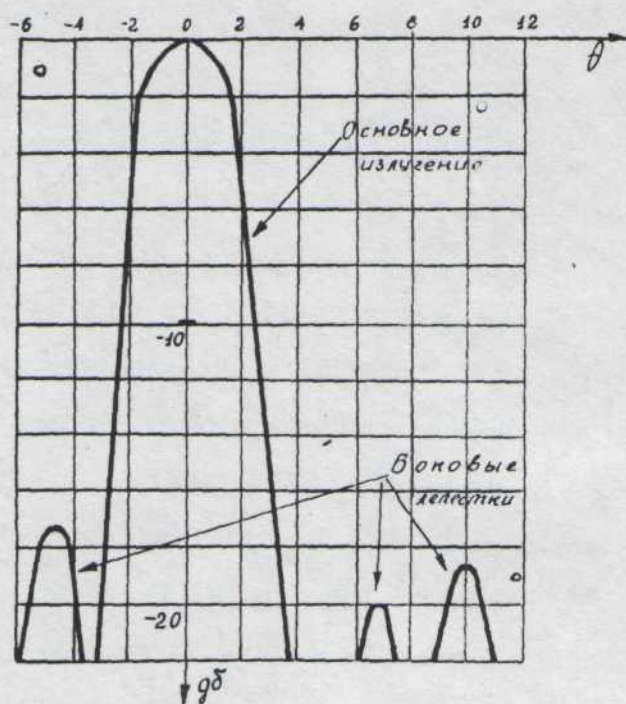


Рис. 2.16. Схематическое изображение антенны. См. рис. 2.15

Параболический отражатель, представляющий собой параболоид вращения, выполнен из металлизированной стеклоткани. Он предназначен для формирования узкой диаграммы направленности. Как известно, парабола обладает замечательным свойством: если в фокус параболы поместить источник колебательной энергии, то вся энергия, попадающая от него на параболу, будет отражаться в направлениях, параллельных оси параболы (рис. 2.17).

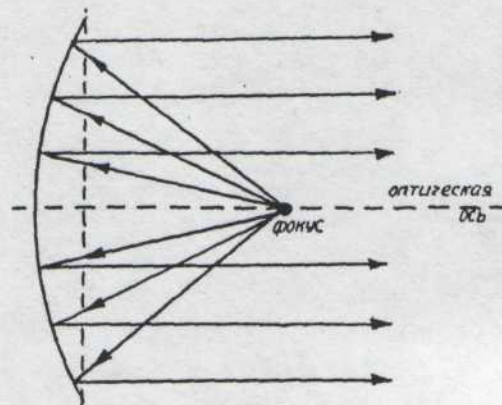


Рис. 2.17. К вопросу о свойстве параболы.

Для получения остронаправленных антенн используются параболоиды вращения, в фокус которых помещается излучатель СВЧ-колебаний. Чем меньше размеры излучателя по сравнению с размерами зеркала отражателя, тем более узкую диаграмму направленности можно получить.

Параболический отражатель создает узкую диаграмму направленности при любой поляризации волны.

Перед параболическим отражателем помещен отражатель сложного профиля — веерный отражатель, образованный горизонтально расположенными проволоками, переплетенными стеклотканью.

Веерный отражатель "прозрачен" для радиоволн, имеющих вертикальную поляризацию, так как вертикально поляризованное поле не вызывает э.д.с. в горизонтально расположенных проволоках. При вертикальной поляризации волны, создаваемой излучателем, волна проходит веерный отражатель, попадает на параболический отражатель, который формирует узкую диаграмму направленности.

При горизонтальной поляризации волны в горизонтально расположенных проволоках веерного отражателя возникает СВЧ-э.д.с., появляются СВЧ-токи, появляется электромагнитное поле — поле излучения, конфигурация которого соответствует веерной диаграмме направленности.

Параболический и веерный отражатели оклеены стеклотканью и образуют сдвоенный отражатель представляющий собой одно целое.

В качестве излучателя используется диэлектрический стержень (фторопласт), помещенный в фокусе отражателя (фокусное расстояние 265 мм). Излучатель одним своим концом входит в открытый конец круглого волновода. На втором конце излучателя установлен металлический дисковый контр-отражатель (диаметр 60 мм), который исключает прямое излучение излучателя "вперед" и направляет всю СВЧ-энергию в сторону отражателей, формирующих диаграммы направленности.

Как сказано выше, при наклоне антенны излучатель не изменяет своего положения. Наклон антенны (вернее, наклон диаграммы направленности) достигается наклоном сдвоенного отражателя.

относительно неподвижного излучателя.

Вращатель плоскости поляризации волны состоит из ферритового стержня, расположенного внутри круглого волновода, и соленоида.

Через соленоид проходит постоянный ток, магнитный поток которого намагничивает ферритовый стержень вдоль его оси.

В основу работы вращателя плоскости поляризации волны положен эффект Фарадея. Сущность этого эффекта заключается в том, что некоторые вещества имеют свойство при намагничивании изменить плоскость поляризации волн, проходящих через них, причем угол и направление поворота плоскости поляризации зависят от напряженности и направления магнитного поля, намагничивающего их.

Схема коммутации диаграмм направленности рассматривается в главе 7, § I.

§ I4. Узлы питания блока ГР2Р

В блоке ГР2Р имеются два узла питания: узел УI, смонтированный на отдельной панели, и узел (без обозначения), смонтированный на шасси блока.

Функциональная схема узла УI приведена на рисунке I.6. В нем путем двойного преобразования напряжения бортовой сети +27 в (постоянное - переменное - постоянное) создаются напряжения -10 в, -25 в с заземленным "плюсом" и напряжения +10 в, +25 в с заземленным "минусом". Эти напряжения используются для питания транзисторных схем.

Кроме того, в узле УI создается напряжение +400 в, которое подается на замедляющую систему ЛОВ. Напряжение +400 в также возникает путем двойного преобразования напряжения +27 в (с помощью отдельного преобразователя). Часть узла УI, в которой возникает напряжение +400 в, связана с системой АПЧ и рассматривается в главе 4 "Система АПЧ".

Принципиальная схема узла УI приведена на рисунке 2.18. Интерес в этой схеме представляет преобразователь постоянного напряжения (ППН), работа которого рассматривается ниже.

Функциональная схема второго узла питания приведена также на рисунке I.6. В этом узле путем трансформации напряжения ~ 115 в 400 гц и последующего выпрямления создаются следующие напряжения:

-650 в, используемое для поджига разрядника;

+120 в, используемое для анодного питания нувисторов в схемах ПУПЧ и АПЧ, а также для окончательного ВУ и ЭЛТ;

-160 в. Это напряжение имеет заземленный "плюс" и служит для питания ЛОВ.

Кроме того, в этом узле создаются переменные напряжения 6,3 в, используемые для питания цепей накала нувисторов и ЛОВ.

Принципиальная схема второго узла питания приведена на рисунке 2.19.

§ I5. Преобразователь постоянного напряжения (ППН)

Различные схемы ППН широко используются в радиоэлектронике для получения от низковольтных источников постоянного напряжения более высокого постоянного напряжения или низкого, но стабилизированного.

Основной частью ППН, используемого в узле УI (рис. 2.18), является звуковой генератор, собранный по схеме двухтактного блокн-генератора на мощных транзисторах типа П210А.

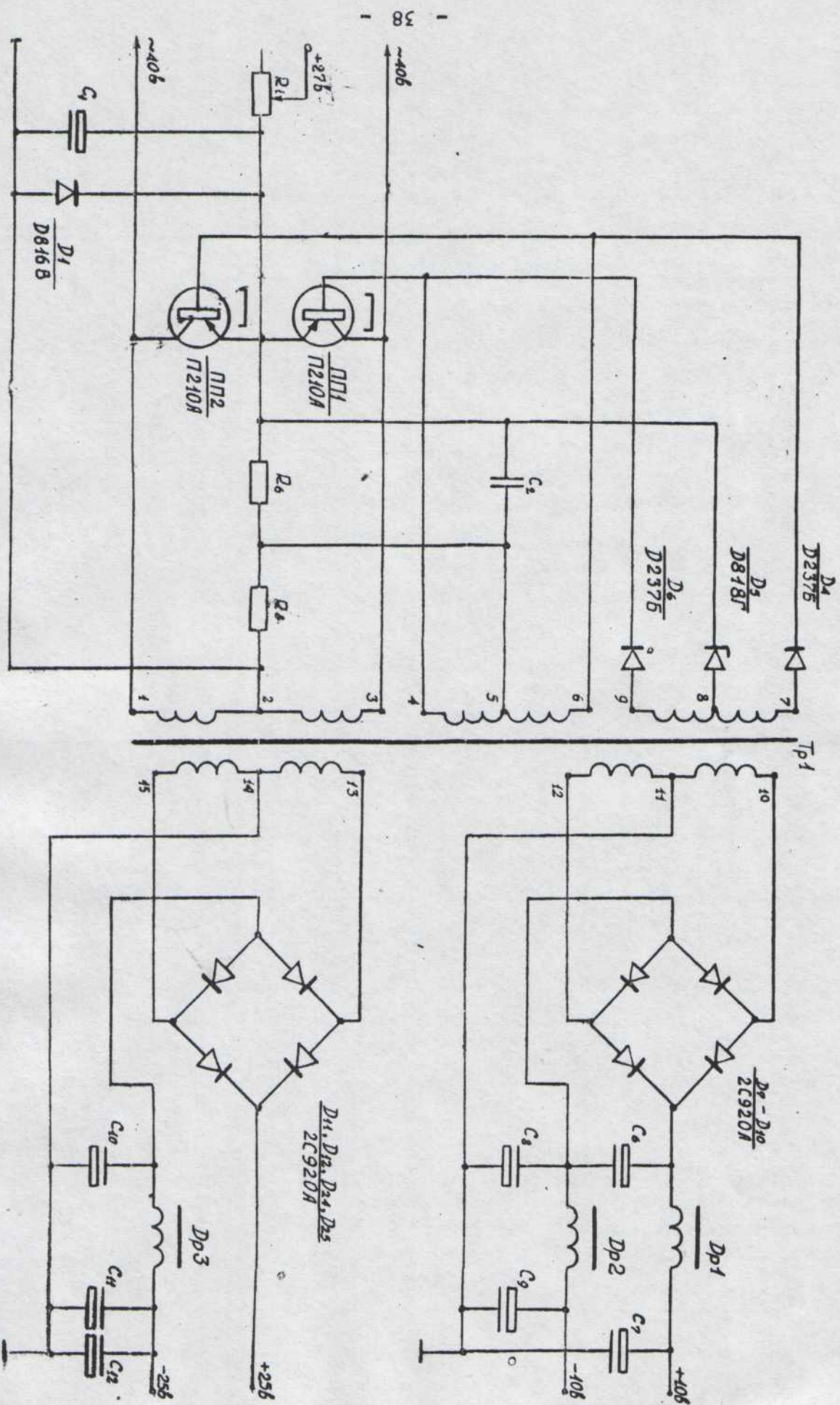


Рис. 2.18. Принципиальная схема узла питания УГ блока TP2P.

рис. 2.18. Принципиальная схема узла питания У1 блока ГР2Р.

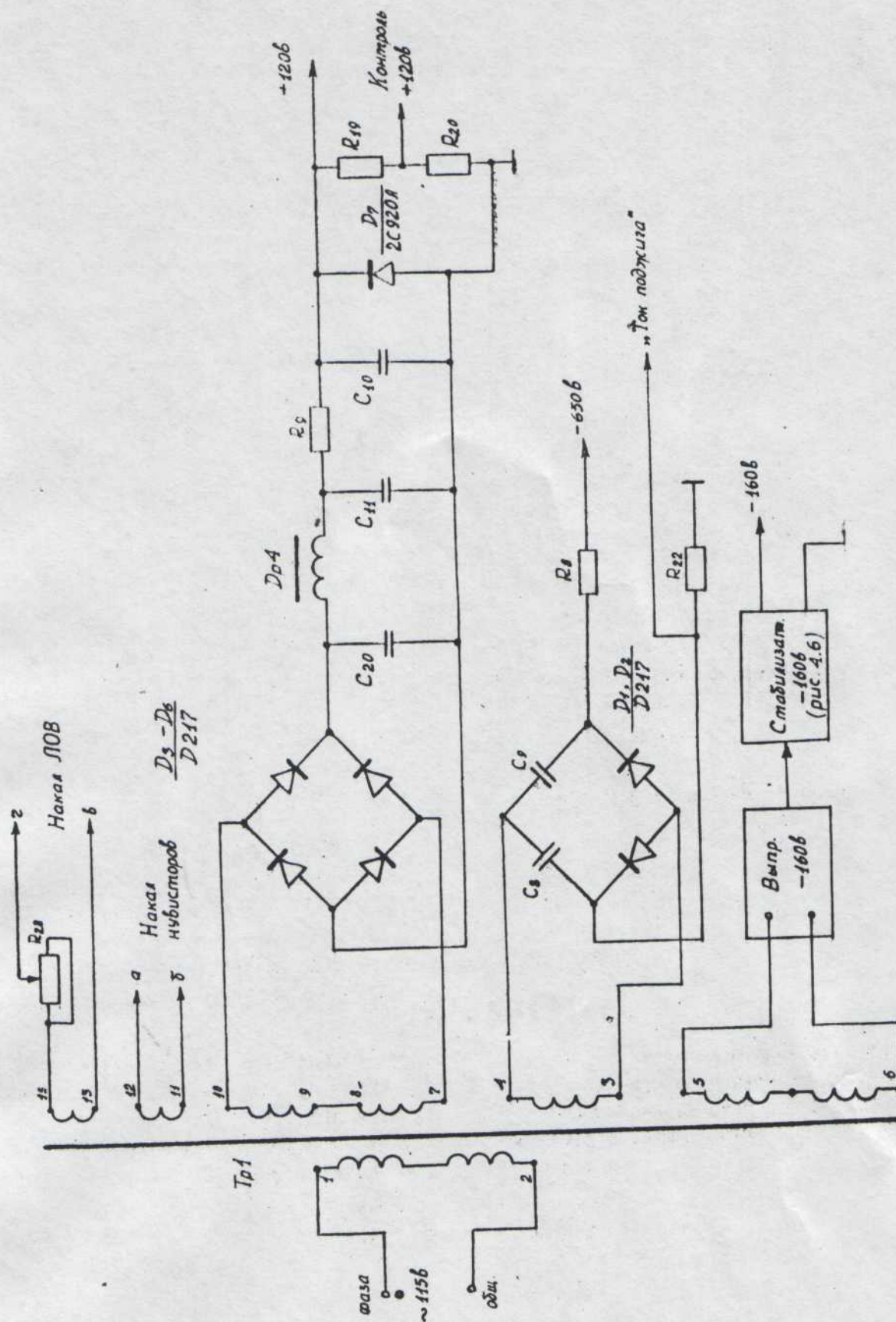


рис. 2.19. Принципиальная схема второго узла блока ГР2Р.

Для осуществления обратной связи трансформатор TrI имеет специальные обмотки (6-5-4). Обмотки (9-8-7), диоды D_4 , D_6 и стабилитрон D_5 служат для стабилизации амплитуды колебаний.

Резисторы R_5 , R_6 образуют делитель, с которого отрицательное напряжение подается на базы транзисторов, что необходимо для самовозбуждения схемы.

Времязадающие RC -цепочки отсутствуют. Известно, что отсутствие их не является препятствием для формирования импульсов, так как при емкости, равной бесконечности, их длительность будет определяться постоянной времени LR -цепи.

Что касается интервалов между импульсами, то они обеспечиваются соответствующей полярностью напряжения обратной связи.

Звуковой генератор создает напряжение прямоугольной формы с равными полупериодами колебаний (меандр). Частота колебаний примерно равна 3000 гц. Амплитуда колебаний между коллекторами транзисторов составляет 40 в.

Обратимся к эквивалентной схеме, приведенной на рисунке 2.20.

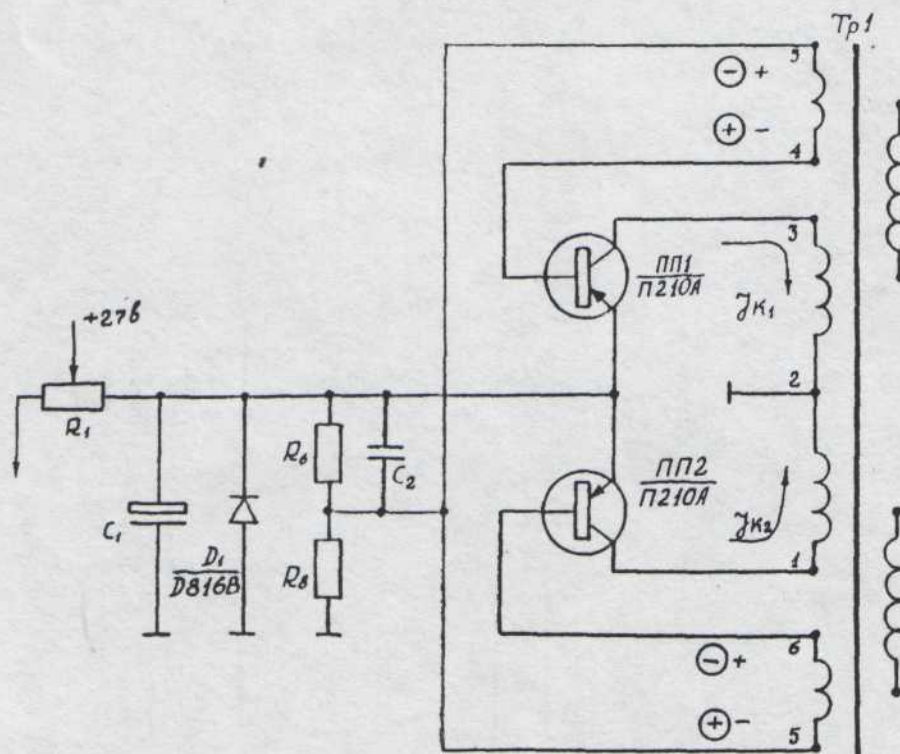


Рис. 2.20. Эквивалентная схема ППН.

В момент включения напряжения +27 в оба транзистора открываются, возникают базовые и коллекторные токи. Нагрузочные обмотки трансформатора, через которые проходят токи коллекторов, создают магнитные потоки, направленные навстречу друг другу, которые вычитаются. Таким образом, в сердечнике трансформатора существует магнитный поток, обусловленный током того транзистора, крутизна характеристики коллекторного тока которого больше, чем у другого.

Этот магнитный поток создает в обмотках обратной связи э.д.с. с такой полярностью, что транзистор (предположим, ПП1) ток коллектора которого больше, переходит в состояние насыщения, а второй (ПП2) — закрывается.

Когда транзистор ПП1 открыт, полярность напряжений на обмотках трансформатора будет такой, как показана на рисунке 2.20 знаками без кружков. Очевидно, что транзистор ПП2 закрыт, так как результирующее напряжение на базе положительно.

Когда транзистор ПП1 выйдет из состояния насыщения, наступит регенеративный процесс, в результате которого транзистор ПП2 откроется и перейдет в состояние насыщения. Тогда полярности напряжений на обмотках трансформатора будут обратными (на рисунке 2.20 показаны в кружках) и закрытым окажется транзистор ПП1.

Таким образом, транзисторы в этой схеме открываются поочередно, и пауза в одной половине схемы соответствует импульсу в другой половине.

Как сказано выше, для стабилизации амплитуды колебаний при изменении напряжения источника питания (+27 в) применяются диоды Д4, Д6 и стабилитрон Д5, включенные в цепь дополнительных обмоток 7-8-9 (рис. 2.18).

Для выяснения принципа стабилизации рассмотрим одну половину схемы ППН, приведенную на рисунке 2.21. Как видно из нумерации выводов обмоток, дополнительная обмотка (8-9) включена навстречу обмотке обратной связи (4-5).

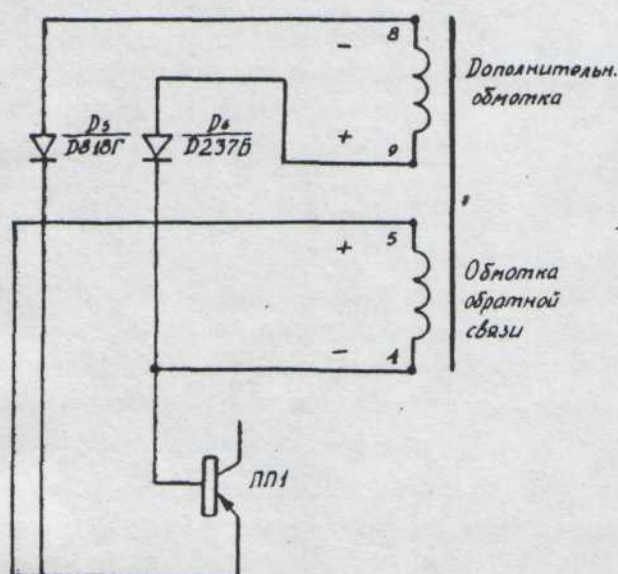


Рис. 2.21. К вопросу о стабилизации амплитуды колебаний.

Стабилитрон Д5 – общий для обеих половин схемы.

С увеличением напряжения питания увеличивается скорость нарастания тока коллектора, следовательно, и скорость нарастания магнитного потока, что приводит к увеличению э.д.с., возникающей в обмотке обратной связи (4-5) и к увеличению амплитуды колебаний. Когда э.д.с. обратной связи превысит напряжение стабилизации стабилитрона Д5, через дополнительную обмотку (8-9) возникает ток, который будет размагничивать сердечник трансформатора, что приведет к уменьшению амплитуды колебаний.

Ток, размагничивающий сердечник, проходит по цепи: обмотка (5) → стабилитрон Д5 (в обратном направлении) → обмотка (8-9) → диод Д6 (в прямом направлении) → обмотка (4).

Диод Д6 предназначается для исключения возможности прохождения базового тока транзистора ПП1 через дополнительную обмотку трансформатора.

Глава 3. ПРИЕМНЫЙ КАНАЛ

§ 1. Функциональная схема

Приемный канал начинается от антенны и оканчивается электронно-лучевой трубкой.

В приемный канал входят:

- часть высокочастотной головки, включая балансный смеситель УПЧ;
- предварительный усилитель промежуточной частоты (ПУПЧ);
- схема временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ);

- усилитель промежуточной частоты с видеодетектором;
- видеоусилитель;
- схема питания ЭЛТ.

Функциональная схема приемного канала приведена на рисунке I.6.

Отраженные от целей сигналы, попадающие на зеркало антенны, концентрируются в фокусе, где расположен диэлектрический стержень, выполняющий роль антенны, и возбуждают в нем электромагнитные колебания.

Эти колебания по волноводному тракту через вращающееся сочленение, через два циркулятора, выполняющих роль антенного переключателя, и через разрядник защиты приемника (РЗП) передаются в балансный смеситель.

Приемник РЛС представляет собой высокочувствительный приемник супергетеродинного типа. В качестве гетеродина используется лампа обратной волны (ЛОВ), колебания которой подаются также в балансный смеситель.

В балансном смесителе, в результате взаимодействия колебаний принятого сигнала с колебаниями ЛОВ, выделяется импульсное напряжение промежуточной частоты, которое передается на вход ПУПЧ.

Как известно, колебания на входе радиолокационного приемника представляют собой СВЧ-колебания, промодулированные по амплитуде коэффициентами отражения местности, т.е. видеопульсами. В смесителе осуществляется перенос огибающей с СВЧ-несущей на новую несущую с промежуточной частотой. Таким образом, колебания на входе ПУПЧ представляют собой колебания промежуточной частоты, промодулированные по амплитуде коэффициентами отражения местности.

ПУПЧ служит для улучшения соотношения сигнал-шум на входе основного УПЧ.

На ПУПЧ воздействует схема ВАРУ, благодаря которой, при использовании узкой диаграммы направленности антенны, амплитуда импульсов на выходе ПУПЧ не зависит от расстояния до цели отражения.

С выхода ПУПЧ импульсы промежуточной частоты передаются на вход панели УПЧ, где происходит основное усиление принятых сигналов.

Для получения логарифмической амплитудной характеристики при приеме сильных сигналов в каскадах УПЧ (кроме первого) происходит ограничение и детектирование. Импульсы, последовательно возникающие в результате детектирования в каждом каскаде, суммируются друг с другом и с импульсами, выделяемыми видеодетектором, и через эмиттерный повторитель из блока ГР2Р передаются в блок ГР4В на вход видеоусилителя. В режиме "Земля" видеоусилитель представляет собой трехтоновой видеоусилитель, имеющий двухступенчатую амплитудную характеристику. Усилитель "Фон" представляет собой ограничитель "сверху", а усилитель "Выделение" - ограничитель "снизу". В смесителе импульсы усилителей "Фон" и "Выделение" смешиваются с импульсами масштабных меток и через окончательный видеоусилитель подаются на катод ЭЛТ и модулируют электронный луч.

х/ По техническим условиям чувствительность приемника составляет не менее 100 дБ/мвт.

Чувствительность радиолокационных приемников характеризуется наименьшей мощностью на входе, при которой на экране на фоне шума появляется отметка полезного сигнала.

Ее принято выражать в децибелах.

Число децибел (N) равняется: $N = 10 \lg \frac{P_{\delta x}}{P_{\delta x.эт.}}$,

где $P_{\delta x}$ - мощность, соответствующая чувствительности;

$P_{\delta x.эт.}$ - эталонная мощность, с которой сравнивается $P_{\delta x}$. Обычно принято считать $P_{\delta x.эт.} = 1 \text{ мВт}$.

Чувствительности 100 дБ/мвт соответствует $P_{\delta x} = 10^{-13} \text{ Вт}$.

Оконечный видеоусилитель собран на двух последовательно соединенных транзисторах, на базу одного из которых подаются видеоимпульсы, а на базу второго — импульсы подсвета, открывающие оконечный видеоусилитель только на время прямого хода электронного луча.

Более подробно функциональная схема рассматривается по частям перед анализом принципиальных схем.

§ 2. Высокочастотная головка

Высокочастотная головка (в.ч.-головка) содержит входную цепь приемника, балансные смесители УПЧ и АПЧ и гетеродин, собранный на лампе обратной волны.

На рисунке 3.1 приведена схема в.ч.-головки. Она мало отличается от схем, используемых в других РЛС.

Принятая антенной СВЧ-энергия по волноводу через циркуляторы Э12, Э14, через погашенный разрядник (Л2) попадает на щелевой распределительный мост (ЩМ) Э8, делится пополам и поступает в камеры кристаллов Д3, Д4 балансного смесителя УПЧ (Э10).

При работе магнетрона часть энергии через отверстие связи (Э11) и плавный аттенкуатор (Э6) попадает на ЩМ (Э7), делится пополам и поступает в камеры кристаллов Д1, Д2 балансного смесителя АПЧ (Э9).

Энергия колебаний ЛОВ через фиксированный аттенкуатор (Э2) подается на ЩМ (Э3), делится пополам и через плавные аттенкуаторы Э4 и Э5 попадает на щелевые мосты (Э7, Э8) балансных смесителей.

Аттенкуаторы Э2, Э4, Э5 служат для ослабления мощности колебаний ЛОВ, поступающих в каждый балансный смеситель, до уровня 1 мВт.

Отверстие связи (Э11) и аттенкуатор (Э6) предназначены для ослабления мощности колебаний магнетрона, поступающих в балансный смеситель АПЧ. Общее ослабление, создаваемое ими, составляет примерно 53 дБ (200000 раз).

О мощности колебаний ЛОВ судят по токам кристаллов балансных смесителей. Нормальный ток ($0,8 \pm 0,4$ ма) устанавливается в лаборатории при использовании пульта контроля с помощью аттенкуаторов Э4, Э5.

Согласованная нагрузка (Э1) нагружает свободное плечо щелевого моста (Э3). Щелевой мост (рис. 3.2) при нагрузке всех его плеч согласованными сопротивлениями обладает следующими свойствами:

- если к волноводу 1 подвести высокочастотные колебания мощностью P , то мощность разделится пополам между волноводами 2 и 4; в каждый из этих волноводов попадут колебания мощностью 50% P ;

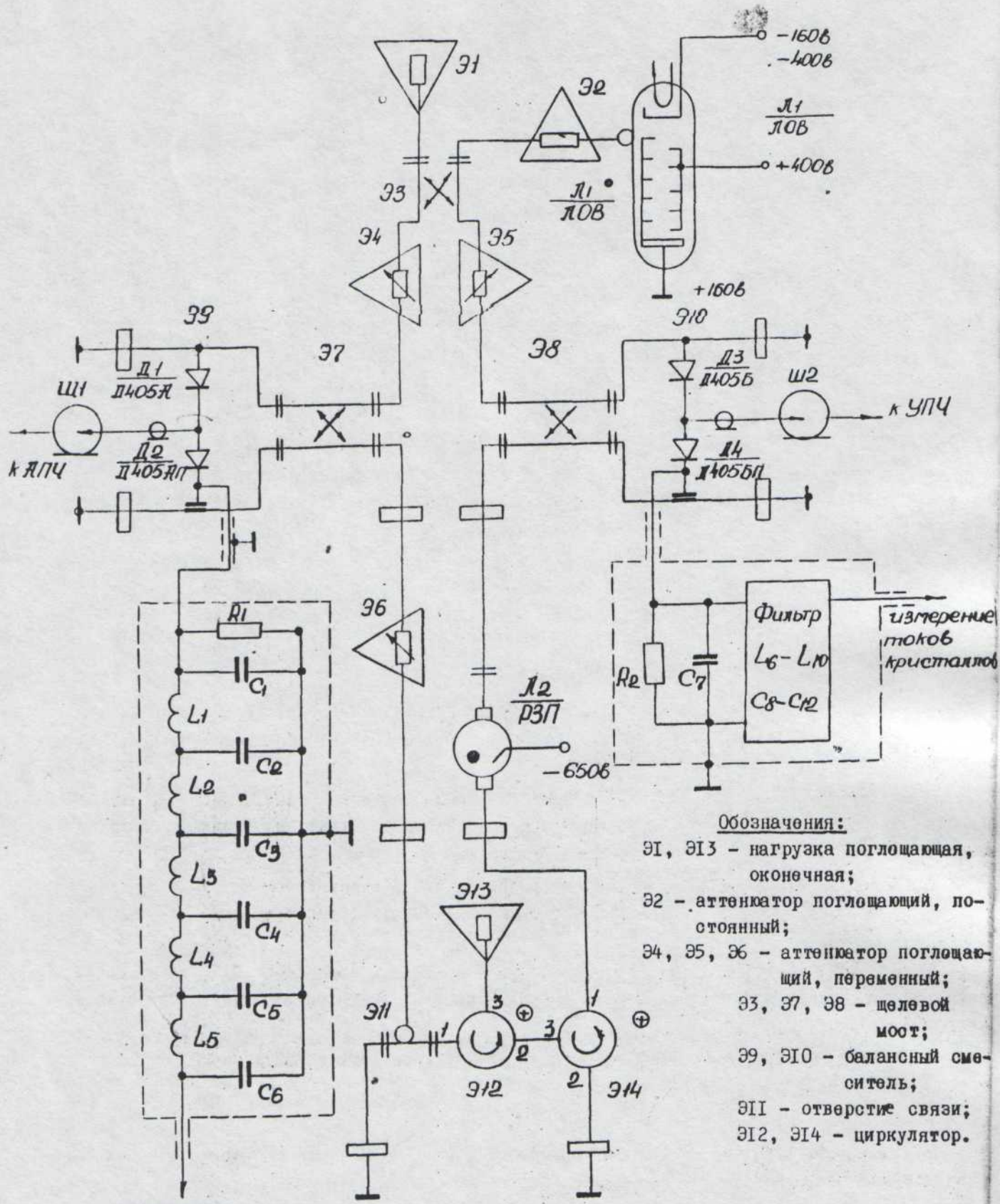
- колебания, которые попадут в волновод 4, будут опережать по фазе на 90° те колебания, которые попадут в волновод 2;

- в волновод 3 колебания не попадут;

- щелевой мост обладает свойством обратимости. Это значит, что к какому волноводу ЩМ не подвести колебания, свойства его не изменятся.

Фазовые сдвиги, возникающие в щелевых мостах и определяющие их свойства, объясняются возникновением в двоянном волноводе двух типов волн H_{10} и H_{20} . Совокупность полей этих волн при выбранной длине двоянного волновода определяет фазовые соотношения.

Разрядник (Л2) предназначен для улучшения защиты приемника от импульсов своего передатчика. Дело в том, что антенный переключатель на циркуляторах дает значительное ослабление мощности, просачивающейся при работе на передачу в балансный смеситель УПЧ, но все-таки



- Обозначения:**
- Э1, Э13 - нагрузка поглощающая, оконечная;
 - Э2 - аттенуатор поглощающий, постоянный;
 - Э4, Э5, Э6 - аттенуатор поглощающий, переменный;
 - Э3, Э7, Э8 - щелевой мост;
 - Э9, Э10 - балансный смеситель;
 - Э11 - отверстие связи;
 - Э12, Э14 - циркулятор.

измерение токов кристаллов от магнетрона к антенне

Рис. 3.1. Схема высокочастотной головки.

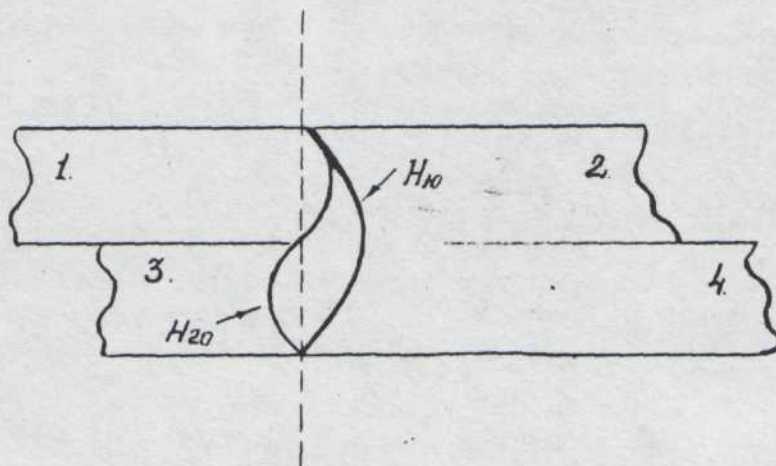


Рис. 3.2. Волноводный щелевой мост.

Чем больше поджигающее напряжение, тем при меньшей просачивающейся мощности происходит ионизация, следовательно, защита приемника лучше.

Основной особенностью используемого разрядника является его безынерционность при ионизации и деионизации.

Работа циркуляторов рассмотрена выше (в главе 2).

§ 3. Балансный смеситель

Смеситель предназначен для преобразования частоты. Балансная схема смесителя дает возможность подавить шумы гетеродина. В качестве гетеродина используется лампа обратной волны — ЛОВ (глава 4, § 6). Как и клистрон, ЛОВ создает колебания с широким спектром частот.

Колебания, для которых наиболее полно выполняются условия самовозбуждения, составляют основную часть выходного сигнала ЛОВ и образуют спектр, показанный на рисунке 3.3.

Промежуточная частота РЛС выбрана сравнительно низкой (30 мГц), поэтому в пределы указанного спектра частот попадают колебания с "опасными" частотами $f_{гет} \pm f_{пр}$, создающими шумы.

Колебания с частотами $f_{гет} \pm f_{пр}$, взаимодействуя с колебаниями с частотой $f_{гет}$, при отсутствии принимаемого сигнала создают на выходе смесителя напряжение промежуточной частоты, которое усиливается всем трактом приемника и вызывает шум, просматривающийся на экране в виде светлого фона.

Этот шум называется шумом гетеродина, так как он возникает только под действием энергии гетеродина.

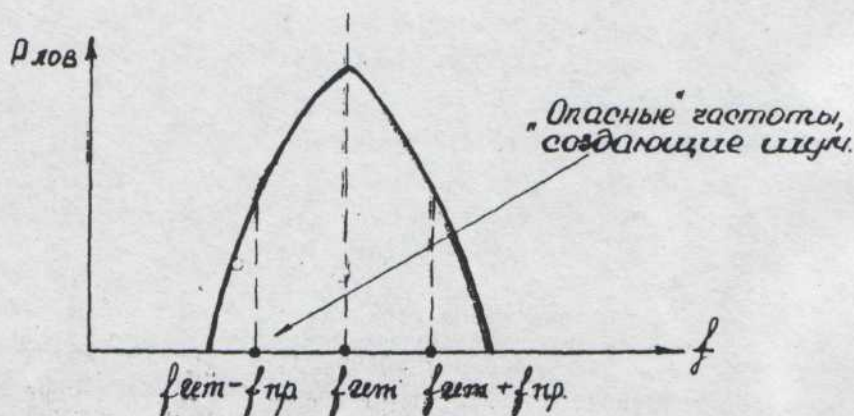


Рис. 3.3. Спектр частот колебаний ЛОВ.

Во всех случаях, когда выбирается низкая промежуточная частота, применять обычный одноконтурный смеситель невозможно из-за появления шумов гетеродина.

Балансный смеситель позволяет почти полностью подавить шумы гетеродина.

На сантиметровых волнах в смесителях используются исключительно кристаллические диоды точечного типа, называемые кристаллами. Основное их преимущество по сравнению с другими видами нелинейных приборов заключается в том, что они имеют небольшую проходную емкость (доли пикофарады), шунтирующую нелинейный промежуток. Если эта емкость велика, то нелинейный элемент теряет нелинейные свойства, так как обратное сопротивление определяется емкостным сопротивлением проходной емкости. Собственные шумы кристаллов сравнительно малы.

В рассматриваемом смесителе используются специальные кремниевые кристаллы типа Д405Б и Д405БП, образующие разнополярную пару. Эти кристаллы имеют одинаковые параметры и отличаются друг от друга только тем, что у кристалла Д405Б резьба нанесена на анодный вывод, а у кристалла Д405БП — на катодный.

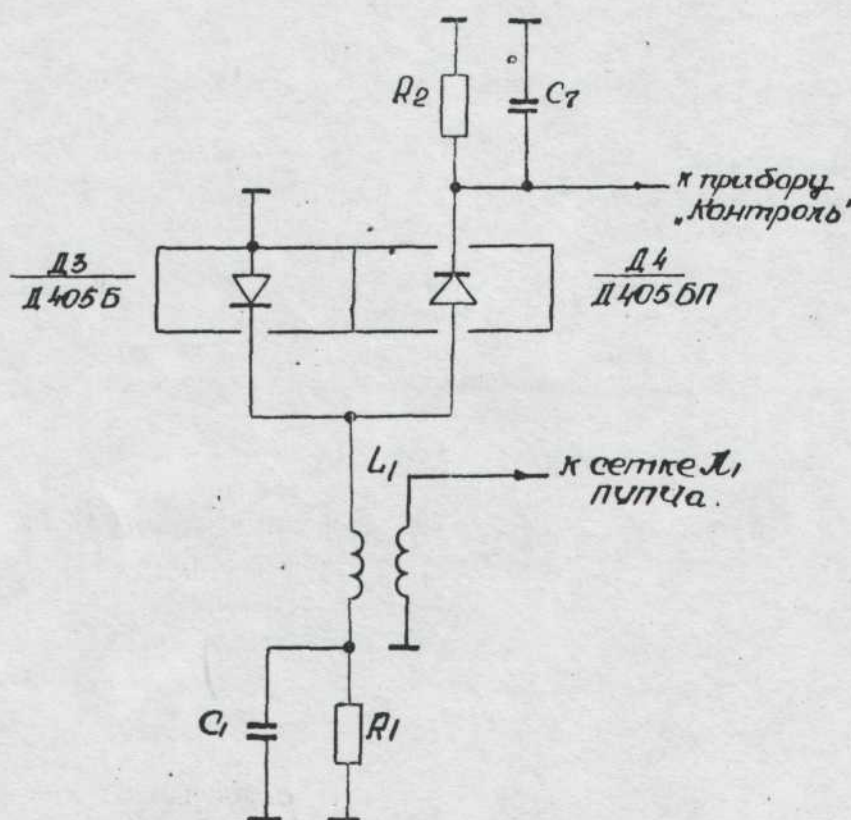


Рис. 3.4. Схема балансного смесителя с фактическим расположением кристаллов.

На рисунке 3.4 приведена схема балансного смесителя с фактическим расположением кристаллов. Однако удобнее пользоваться схемой с условным расположением кристаллов (рис. 3.5) которая дает возможность проследить движение энергии.

Для того, чтобы понять работу балансного смесителя, следует рассмотреть следующие вопросы:

- физика подавления шумов гетеродина;
- физика выделения полезного сигнала;
- автоматическое выравнивание чувствительности кристаллов;
- измерение токов кристаллов

Физика подавления шумов гетеродина. Предположим, что мощность полезного сигнала $P_{сигн}$ равна нулю, а к гетеродинному волноводу подводятся колебания с частотой $f_{гет}$, необходимые для преобразования, и с частотой $f_{гет} \pm f_{пр}$, создающие шум гетеродина (рис. 3.5).

Поля этих колебаний воздействуют на стержень кристалла Д3, и в нем возникают, как в элементарной антенне, две э.д.с. с разными частотами, которые складываются, в результате чего возникает явление биения.

Эти же колебания через шелевой мост передаются в нижний волновод, и их поля воздействуют на стержень кристалла Д4. В нем также возникают две э.д.с. с разными частотами, которые складываются.

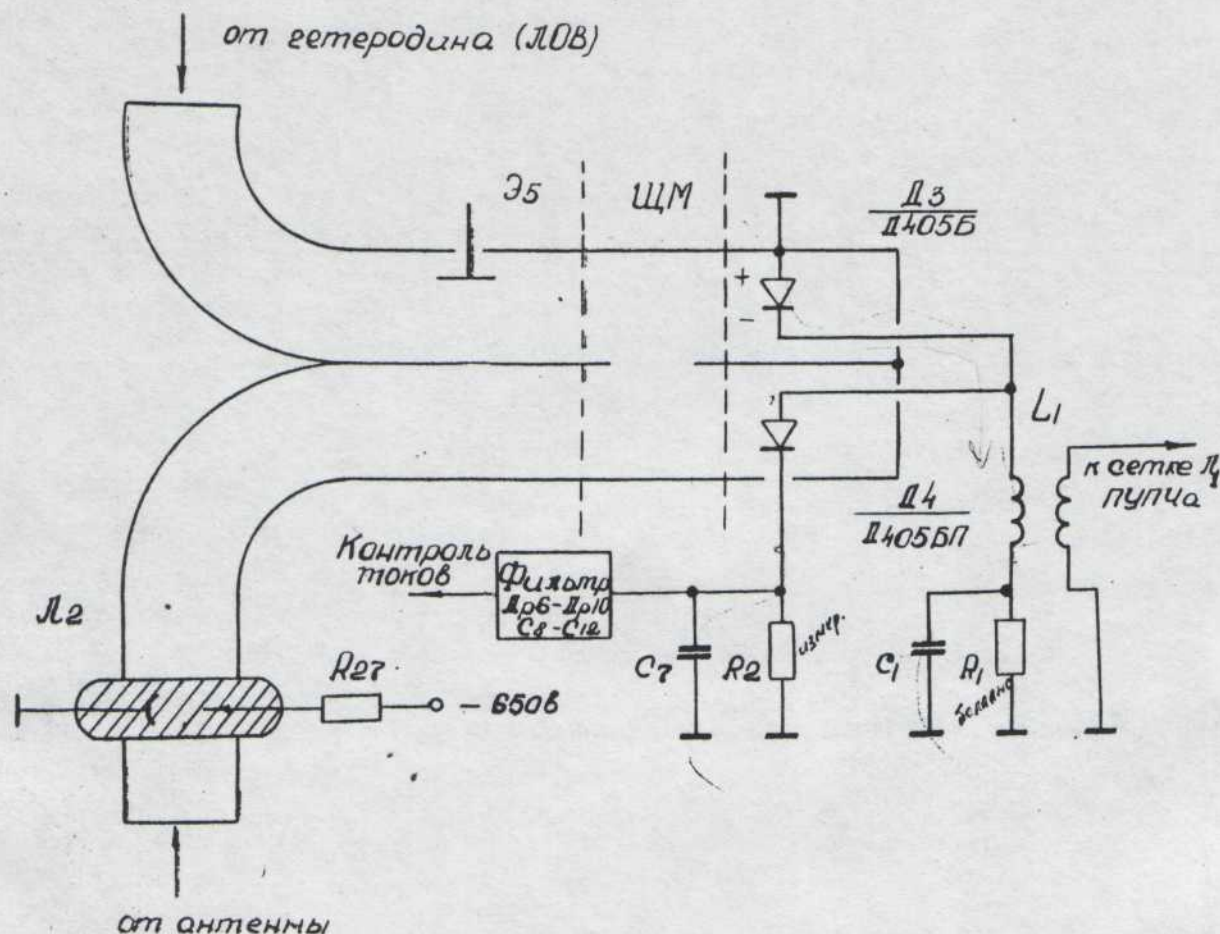


Рис. 3.5. Схема балансного смесителя.

При согласованных нагрузках через щелевой мост в нижний волновод передается ровно 50% мощности колебаний, а другие 50% распространяются по верхнему волноводу. Таким образом, на оба кристалла воздействуют колебания с одинаковой мощностью.

Мощность колебаний, существующих в гетеродинном волноводе, регулируется с помощью плавного аттенуатора и составляет примерно 1 мвт. Следовательно, к каждому кристаллу подводится мощность, равная 0,5 мвт.

При передаче колебаний через щелевой мост в нижний волновод фаза их изменяется в сторону опережения на 90° относительно фазы колебаний, существующих в верхнем волноводе, но не относительно друг друга (т.е. складываемых колебаний), поэтому огибающие суммарных напряжений на анодах обоих кристаллов оказываются в фазе.

ПРИМЕЧАНИЕ. При сложении двух напряжений с разными частотами фаза огибающей зависит от исходных фазовых соотношений складываемых напряжений. Для того, чтобы изменилась фаза огибающей, необходимо изменить фазу одного из складываемых напряжений относительно фазы другого. В данном случае на одинаковый угол изменяются фазы обоих складываемых напряжений, поэтому фазовый сдвиг огибающей не происходит.

В составе токов кристаллов появляются составляющие, имеющие частоту огибающей. Поскольку огибающие на анодах кристаллов имеют одинаковые фазы, то и составляющие токов промежуточной частоты будут синфазными.

Они проходят:

– ток кристалла ДЗ – от катода, обмотка трансформатора L_1 (сверху вниз), конденсатор C_1 , корпус, волновод, анод кристалла ДЗ;

- ток кристалла Д4 - от катода, конденсатор С7, корпус, конденсатор С1, обмотка трансформатора L_1 (снизу вверх), анод кристалла Д4.

Важно, что через первичную обмотку трансформатора L_1 они проходят в противоположных направлениях и их магнитные потоки вычитаются.

Так как токи синфазны, имеют одинаковые амплитуды и проходят навстречу друг другу, то результирующий магнитный поток обращается в нуль и никакой э.д.с. во вторичной обмотке трансформатора L_1 не возникает. Следовательно, шумов гетеродина на входе ПУПЧ не будет. Необходимо также учесть, что каждый кристалл шунтирует первичную обмотку трансформатора L_1 для тока другого кристалла и поэтому токи, о которых речь шла выше, будут очень малыми.

Физика выделения полезного сигнала. В нижний волновод подаются колебания $P_{сигн}$ с частотой сигнала, а в верхний волновод - колебания $P_{гет}$ с частотой гетеродина.

В этом случае на стержни кристаллов Д3 и Д4 будут воздействовать поля указанных колебаний и на анодах кристаллов появятся суммарные напряжения, огибающие которых имеют промежуточную частоту.

Следует обратить внимание, что складываемые напряжения имеют фазовые сдвиги друг относительно друга, причем на аноде кристалла Д4 опережает напряжение с большей частотой (с частотой гетеродина), а на аноде кристалла Д3 - с меньшей частотой (с частотой сигнала), что обуславливает фазовый сдвиг между огибающими суммарных напряжений на 180° .

В данном случае составляющие токов кристаллов, так же, как и огибающие суммарных напряжений на анодах кристаллов, будут противофазны.

Они проходят:

- ток кристалла Д3 - от катода, обмотка трансформатора L_1 (сверху вниз), конденсатор С1, корпус, волновод, анод кристалла Д3;

- ток кристалла Д4 - от анода (учитывается противофазность тока), обмотка трансформатора L_1 (сверху вниз), конденсаторы С1, С7, катод кристалла Д4.

Так как токи кристаллов проходят через обмотку трансформатора L_1 в одном направлении, их магнитные потоки складываются, и во вторичной обмотке появляется полезное напряжение промежуточной частоты, которое подается на сетку первой лампы ПУПЧ.

В данном случае (так как на анодах кристаллов фазы огибающих противоположны) кристаллы не шунтируют обмотки трансформатора L_1 .

Автоматическое выравнивание чувствительности кристаллов. Условием подавления шумов гетеродина является равенство токов кристаллов, так как только при этом условии шумовой магнитный поток первичной обмотки трансформатора L_1 обращается в нуль.

Токи кристаллов оказываются равными:

- при одинаковой чувствительности кристаллов;
- при одинаковых входных сопротивлениях камер кристаллов, что обеспечивает правильности деления энергии между верхним и нижним волноводами.

Последнее условие обеспечивается на заводе путем перемещения задних стенок волновода перед их запайкой и с помощью винта настройки щелевого моста.

Чувствительность кристаллов, вследствие старения или ухудшения параметров в результате перегрузок, изменяется в процессе эксплуатации.

В схеме предусмотрен резистор балансировки R_1 , с помощью которого происходит автоматическое выравнивание чувствительности кристаллов.

По постоянным составляющим токов кристаллы включены последовательно.

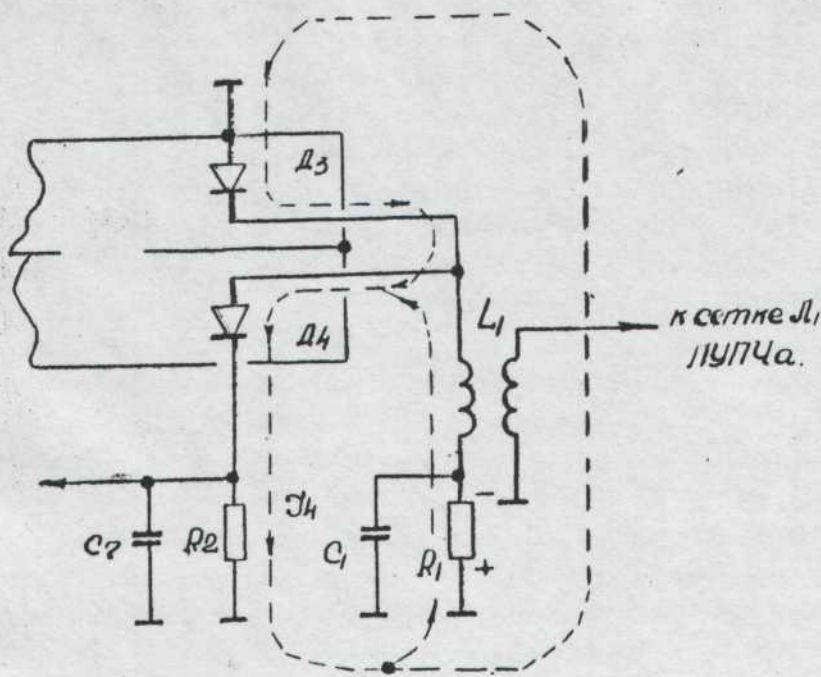


Рис. 3.6. Цепь постоянной составляющей тока кристалла Д4.

На схеме (рис. 3.6) показана цепь постоянной составляющей тока кристалла Д4. Как видно из схемы, основной ток кристалла Д4 проходит по цепи: катод кристалла Д4, резистор R_2 (значение этого резистора будет показано ниже), корпус, кристалл Д3, анод кристалла Д4.

Лишь небольшая часть тока проходит по параллельной цепи через резистор R_1 и создает на нем падение напряжения с полярностью, показанной на схеме.

Такая же часть тока кристалла Д3 проходит через резистор R_1 в противоположном направлении. Если чувствительность кристаллов одинакова, то общее падение напряжения на резисторе R_1 равно нулю.

Предположим, что чувствительность кристалла Д3 ухудшилась. Это значит, что уменьшилась крутизна характеристики, а следовательно, и постоянная составляющая тока кристалла.

В этом случае на резисторе балансировки R_1 появится результирующее падение напряжения, совпадающее по направлению с током кристалла Д4 (плюс вниз), которое «плюсом» окажется приложенным к аноду кристалла Д3, т.е. кристалла с худшей чувствительностью, а «минусом» — к аноду кристалла Д4 с лучшей чувствительностью. Под действием этих напряжений рабочие точки на характеристиках кристаллов переместятся: у кристалла с худшей чувствительностью — вправо, в область с большей крутизной характеристики, у кристалла с лучшей чувствительностью — влево, в область с меньшей крутизной характеристики. Таким образом, происходит автоматическое выравнивание чувствительности кристаллов.

Если предположим, что ухудшилась чувствительность кристалла Д4, то на резисторе R_1 появится результирующее падение напряжения с противоположной полярностью, и рабочие точки на характеристиках кристаллов переместятся в противоположных направлениях.

Измерение токов кристаллов. Постоянные составляющие токов кристаллов возникают под действием энергии гетеродина. Мощность колебаний гетеродина, поступающих в смеситель, составляет около 1 мвт, т.е. $P_{гет} = 10^{-3}$ вт. Мощность колебаний сигнала (при слабых сигналах) равна $P_{сиг} = 10^{-13}$ вт, т.е. в 10^{10} раз меньше мощности гетеродина.

Из приведенного сравнения видно, что мощность принимаемого сигнала ничтожно мала по сравнению с мощностью колебаний гетеродина, поэтому величина токов кристаллов не зависит от того, существует ли принимаемый сигнал или нет его.

Токи кристаллов проходят через резистор R_2 и создают на нем падение напряжения, которое через фильтр передается в пульт контроля ГРП (если он присоединен к РЛС) и попадает на прибор «Контроль».

Величина токов кристаллов должна лежать в пределах $0,8 \pm 0,4$ ма.

В смесителях, в которых в качестве гетеродина используется ЛОВ, по величине токов кристаллов можно судить о правильности режима работы ЛОВ, но судить о правильности настройки приемника, как в случае использования клистрона, нельзя.

На рисунке 3.7 приведена зависимость колебательной мощности ЛОВ от управляющего напряжения. Для сравнения пунктиром показана зависимость колебательной мощности клистрона от напряжения на отражателе.

У клистрона номинальной частоте соответствует максимальная мощность колебаний. Это обстоятельство и дает возможность настраивать приемник по максимуму токов кристаллов.

У ЛОВ номинальной частоте соответствует какая-то колебательная мощность, величина которой с увеличением частоты, в основном, увеличивается, но без определенной закономерности.

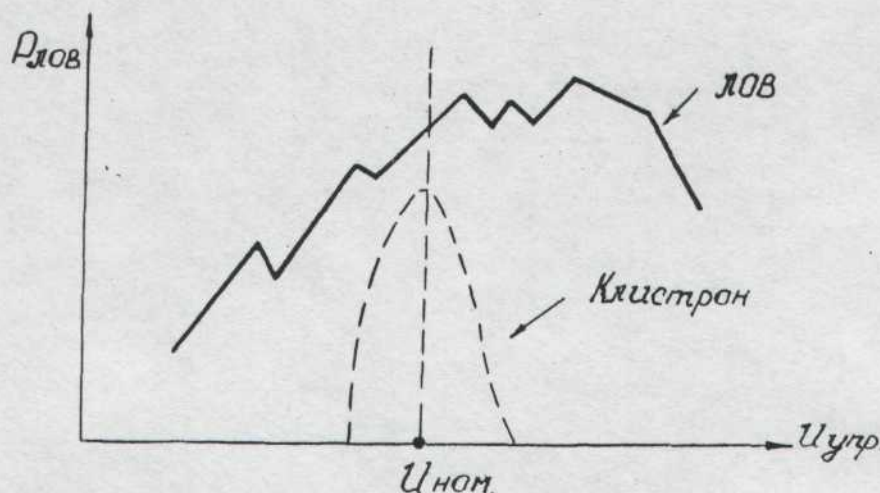


Рис. 3.7. Зависимость колебательной мощности ЛОВ от управляющего напряжения.

§ 4. Предварительный усилитель промежуточной частоты (ПУПЧ)

Основное усиление, обеспечивающее высокую чувствительность приемника, происходит в усилителе промежуточной частоты (УПЧ).

Общий коэффициент усиления УПЧ при приеме слабых сигналов примерно равен $5 \cdot 10^5$. Чтобы получить такое большое усиление, используются 10 каскадов. Обеспечить устойчивую работу при таком большом количестве каскадов трудно, поэтому весь усилитель промежуточной частоты разделен на две части, смонтированные на отдельных панелях: первая часть, идущая непосредственно за балансным смесителем, названа ПУПЧем, вторая часть названа УПЧ. Панель УПЧ заканчивается видеодетектором.

ПУПЧ содержит четыре каскада. Общий коэффициент усиления $K \approx 20$. Основное назначение ПУПЧа — улучшение соотношения сигнал-шум, поэтому в ПУПЧе приняты специальные меры для уменьшения собственных шумов.

В ПУПЧе осуществляется регулировка усиления и в некоторых режимах вводится импульс ВАИ.

Как обычно, полоса пропускания ПУПЧа выбрана шире полосы пропускания УПЧ, что исключает влияние ПУПЧа на резонансную характеристику УПЧ ($\Delta F = 6$ мГц).

Принципиальная схема ПУПЧа приведена на рисунке 3.8.

Первый каскад ПУПЧа. В первом каскаде используется электронная лампа Л1 (6С52Н-В-нувистор), собственные шумы которой значительно меньше собственных шумов любого транзистора.

Нувистор представляет собой малогабаритный металло-керамический триод, имеющий малую проходную емкость.

рис-
при-

си-
бы
при
аз-
енно
ся

ень-
ВАРУ
ча-

вис-

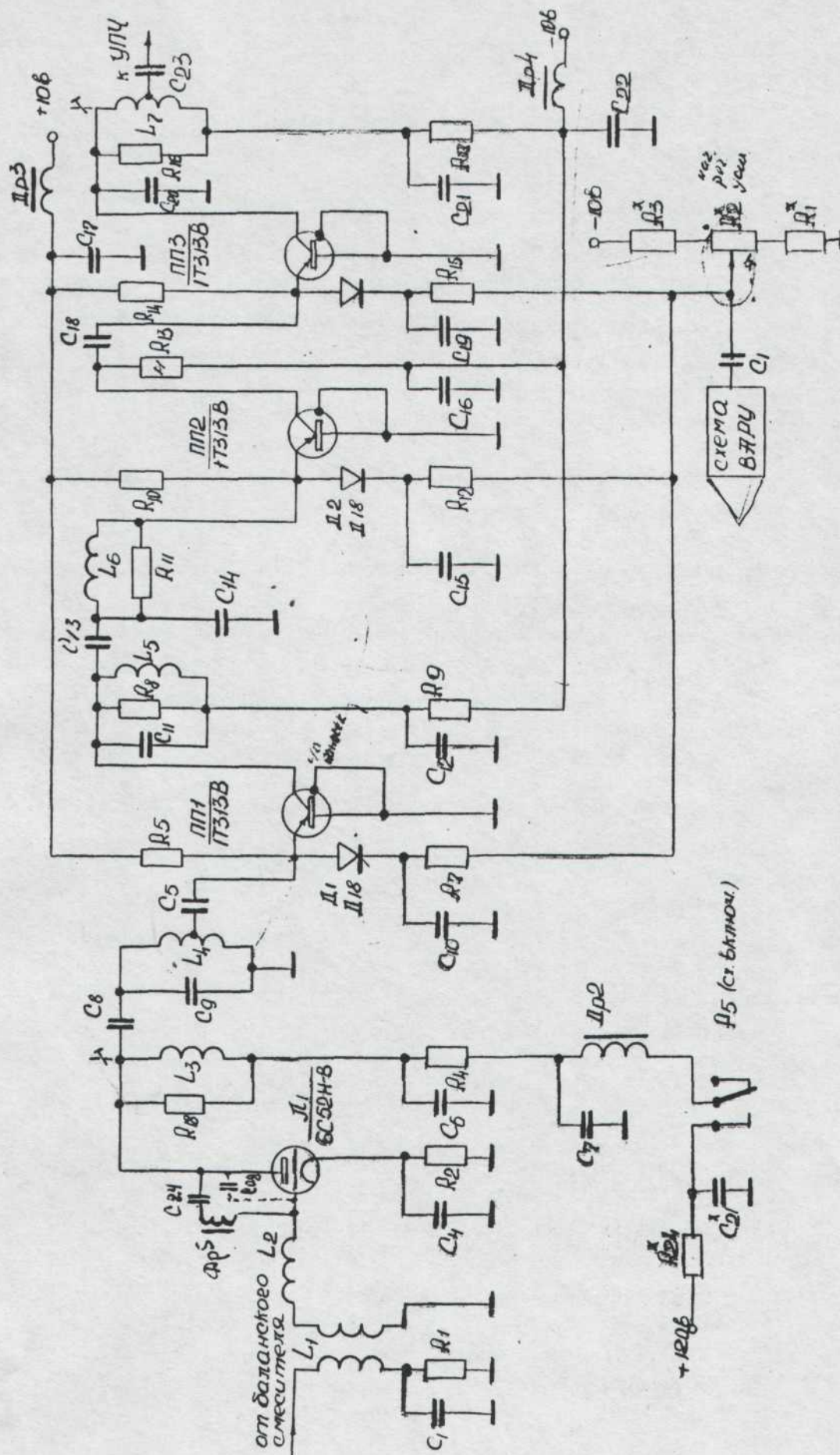


Рис. 3.8. (Принципиальная схема ПУПЧ.)

Нувистор типа 6C52H-B имеет следующие параметры:

- коэффициент усиления $\mu = 60$;
- крутизна характеристики $S = 20 \frac{\text{мА}}{\text{В}}$;
- проходная емкость $C_{ag} = 0,85 \text{ пф.}$

Анализ схемы. Напряжение смещения подается на сетку лампы с резистора R_2 , включенного в цепь катода.

На анод подается напряжение от выпрямителя +120 в через три фильтрующие ячейки ($R_{24}, C_{27}; R_{25}, C_{28}$) при срабатывании реле Р2-5 (все режимы, кроме режима "Готовность").

Нагрузкой служит полосовой фильтр с внешней емкостной связью (C_8), контуры которого настроены на 30 мГц. Связь выбрана критической. С целью согласования следующий каскад (ППИ) присоединен к части витков индуктивности L_4 .

Через первичную обмотку трансформатора L_1 проходят токи кристаллов балансного смесителя, и во вторичной обмотке появляется напряжение промежуточной частоты. Индуктивность L_2 с входной емкостью лампы (C_{gk}) образует последовательный контур, настроенный на частоту 30 мГц, который срезает частоты, меньшие и большие промежуточной частоты, возникающие в процессе преобразования.

Чтобы обеспечить устойчивость работы, применены контуры с низкой добротностью, поэтому полоса пропускания первого каскада оказывается широкой ($\Delta F \cong 10 \text{ мГц}$), а коэффициент усиления - малым ($K \cong 4$).

Шумовые свойства ламп и транзисторов принято оценивать эквивалентным сопротивлением шумов $R_{ш}$.

Для пентода $R_{ш} > 1500 \text{ ом}$, для лучших высокочастотных транзисторов $R_{ш} = 800 \text{ ом}$. Нувистор имеет более низкое эквивалентное сопротивление шумов ($R_{ш} = 400 \text{ ом}$), поэтому применение нувистора в первом каскаде ПУПЧ позволяет получить мал шумящий усилитель.

Остальные каскады ПУПЧ. В последних трех каскадах используют высокочастотные экранированные транзисторы типа 1Т313В (р - л - р). Отличительной особенностью их является очень малая постоянная времени цепи обратной связи ($\tau = 40 \text{ наносек}$), что обеспечивает устойчивость работы на высоких частотах.

Во всех каскадах используется схема с общей базой, которая, как известно, обеспечивает более высокую температурную стабильность положения рабочей точки. Малое входное сопротивление этой схемы для широкополосных усилителей не является недостатком.

Транзисторы питаются от двух источников: +10 в (цепи эмиттеров) и -10 в (цепи коллекторов).

Во всех каскадах осуществляется начальная регулировка усиления, которая производится помощью потенциометра R_2 .

На рисунке 3.9 приведена выборочная схема регулировки усиления второго каскада ПУПЧ (ППИ).

Когда движок потенциометра R_2 находится в нижнем положении, ток, протекающий через диод Д1, мал. При этом ток эмиттера транзистора ППИ велик и коэффициент усиления максимален.

При перемещении движка потенциометра R_2 вверх увеличивается "минус" на катоде диода Д1, ток диода увеличивается, увеличивается падение напряжения на резисторе R_5 , поэтому ток эмиттера уменьшается, что приводит к уменьшению коэффициента усиления.

Таким образом, чем больше "минус" на катоде диода, тем меньше коэффициент усиления.

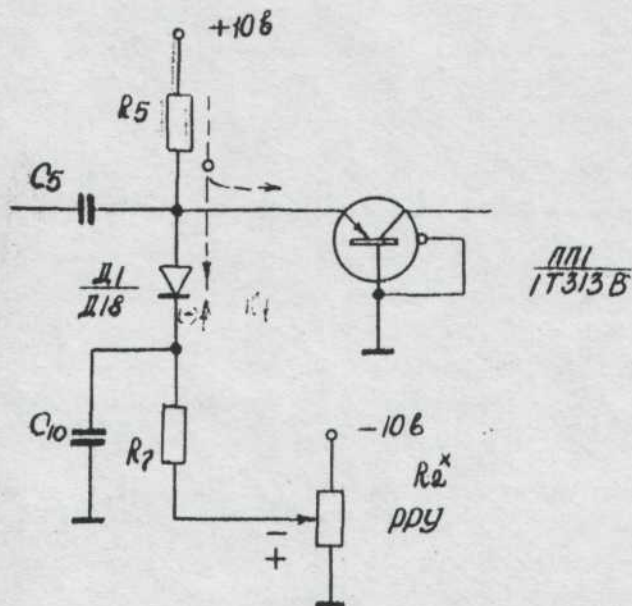


Рис. 3.9. Регулировка усиления второго каскада ПУПЧ.

внешней емкостной связью (C_{13}). Вторичный контур представляет собой параллельный контур III вида. Эквивалентная схема этого контура приведена на рисунке 3.10.

В него входят, кроме L_6 , C_{14} , R_{11} , входные параметры транзистора ПП2 и диода Д2.

Исходный режим. Транзистор ПП1 открыт.

Рабочая точка расположена на линейной части входной характеристики. Базовый ток проходит по цепи: источник +10 в $\rightarrow$ Др3 $\rightarrow$ R_5 $\rightarrow$ переход эмиттер-база $\rightarrow$ корпус ("минус" источника +10 в).

Коллекторный ток проходит: источник +10 в $\rightarrow$ Др3 $\rightarrow$ R_5 $\rightarrow$ переход эмиттер-коллектор $\rightarrow$ L_5 $\rightarrow$ R_9 $\rightarrow$ Др4 $\rightarrow$ источник -10 в.

Из сказанного видно, что коллекторная цепь питается от двух источников (+10 в и -10 в), соединенных последовательно.

Динамика. Под действием напряжения промежуточной частоты, возникающего на контуре C_9, L_4 , появляются переменные составляющие тока базы и тока коллектора.

Переменная составляющая тока базы проходит по цепи: контур C_9, L_4 $\rightarrow$ C_5 $\rightarrow$ переход эмиттер-база $\rightarrow$ корпус $\rightarrow$ контур C_9, L_4 .

Переменная составляющая тока коллектора проходит по цепи: контур C_9, L_4 $\rightarrow$ C_5 $\rightarrow$ переход эмиттер-коллектор $\rightarrow$ контур C_{11}, L_5 $\rightarrow$ C_{12} $\rightarrow$ корпус $\rightarrow$ контур C_9, L_4 .

Под действием переменной составляющей тока коллектора возникает контурный ток, величина которого значительно больше тока коллектора.

Сопротивление диода Д1, заземленного через конденсатор C_{10} , подключено параллельно к входному сопротивлению транзистора ПП1 и имеет примерно такую же величину.

Общее сопротивление этой параллельной цепи шунтирует контур C_9, L_4 .

Однако при регулировке усиления добротность контура (C_9, L_4) не изменяется, так как уменьшение сопротивления диода вызывает соответствующее увеличение входного сопротивления транзистора, и общее их сопротивление остается примерно одинаковым.

Следует отметить, что сопротивление резистора R_5 по сравнению с входным сопротивлением транзистора ПП1 и сопротивлением диода Д1 велико, поэтому общий ток, протекающий через него, при регулировке усиления не изменяется.

Нагрузкой второго каскада ПУПЧ (ПП1) служит двухконтурный полосовой фильтр с

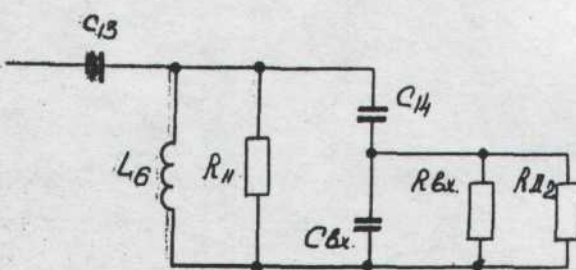


Рис. 3.10. Эквивалентная схема контура.

Часть колебательной энергии из первичного контура через конденсатор $C13$ передается во вторичный контур. Под действием этой энергии возникают переменные составляющие токов базы коллектора транзистора ПП2, амплитуды которых значительно больше амплитуд соответствующих токов транзистора ПП1.

Третий каскад ПУПЧ представляет собой аperiодический усилитель. Его нагрузкой служит резистор $R13$.

Четвертый каскад ПУПЧ — резонансный. Его нагрузкой служит контур $C20, L7$, настроенный на 30 мГц.

Усиленное напряжение промежуточной частоты с части контура $C20, L7$ через конденсатор $C23$ подается по коаксиальному кабелю на вход основного УПЧ.

Неполное использование контура $C20, L7$ позволяет осуществить согласование выходного сопротивления последнего каскада ПУПЧ с волновым сопротивлением кабеля.

Общий коэффициент усиления трех транзисторных каскадов ПУПЧ равен примерно 5–6.

Воздействие на ПУПЧ импульсов ВАРУ рассматривается в конце следующего параграфа.

§ 5. Схема временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ)

Схема ВАРУ используется в режиме "Контур" и предназначена для исключения зависимости выходного напряжения ПУПЧ от расстояния до отражающей облачности.

В этом режиме применяется узкая диаграмма направленности антенны, поэтому величина входного сигнала сильно зависит от расстояния.

Если бы схема ВАРУ не использовалась, то сильные сигналы, отраженные от близлежащих слоев "неопасной" облачности, просматривались бы на экране в виде темных контуров, соответствующих "опасным" зонам облачности, что, естественно, недопустимо.

Кроме режима "Контур" схема ВАРУ используется также в режимах "Земля" и "Снос" на масштабе 30 км.

В режимах "Земля" и "Снос" на масштабах 30, 50 и 125 км применяется косеканс-квадратичная диаграмма направленности, поэтому надобности в использовании схемы ВАРУ нет.^{х/}

Однако, вследствие того, что на близких расстояниях диаграмма направленности антенны не полностью соответствует закону косеканс-квадрат, на масштабе 30 км используется схема ВАРУ, благодаря чему улучшается качество изображения на этом масштабе.

В схеме ВАРУ формируется импульс отрицательной полярности, форма которого показана на рисунке 3.II. Он воздействует на три последних каскада ПУПЧ и изменяет коэффициент

х/ Как известно, косеканс-квадратичная диаграмма направленности исключает зависимость величины принятого сигнала от расстояния.

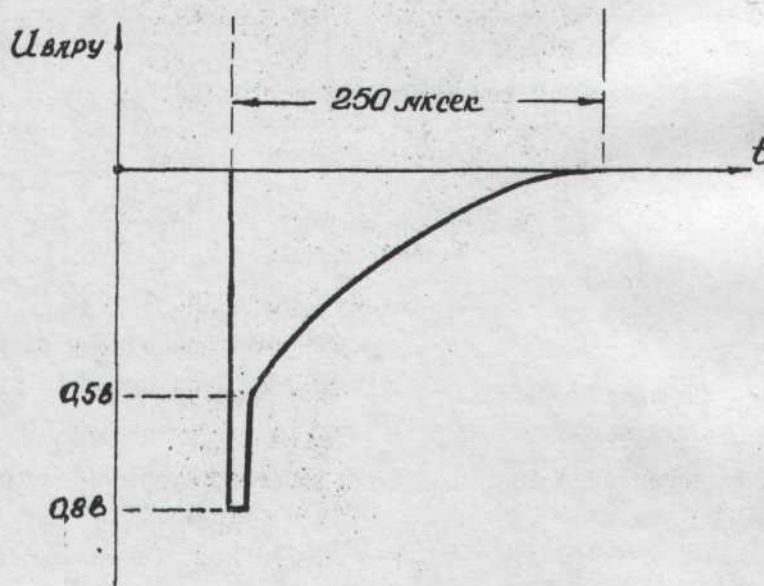


Рис. 3.II. Форма импульса ВАРУ.

усиления во времени. Он подается через RC -цепочки ($R_7, C10$; $R_{15}, C19$; $R_{12}, C15$) на катоды диодов Д1, Д2, Д3. Токи диодов увеличиваются, поэтому токи эмиттеров транзисторов ПП1, ПП2, ПП3 уменьшаются, следовательно, уменьшаются коэффициенты усиления этих каскадов.

С течением времени, в соответствии с формой импульса ВАРУ, отрицательное напряжение на катодах диодов уменьшается, уменьшаются их токи, а эмиттерные токи транзисторов ПП1, ПП2, ПП3 увеличиваются, коэффициенты усиления каскадов также увеличиваются и через 250 мксек достигают своего номинального значения.

В схеме ВАРУ происходит сложение импульса ВАРУ со старт-импульсом, под действием которого транзисторы ПП1, ПП2, ПП3, на время существования импульсов передатчика, закрываются, т.е. бланкируются.

Бланкирование происходит во всех режимах работы РЛС, вне зависимости от того, используется схема ВАРУ или нет.

Благодаря бланкированию, исключается возможность выхода из строя транзисторов под действием сигнала передатчика, просачивающегося через все элементы защиты приемника.

Функциональная схема ВАРУ приведена на рисунке 3.12.

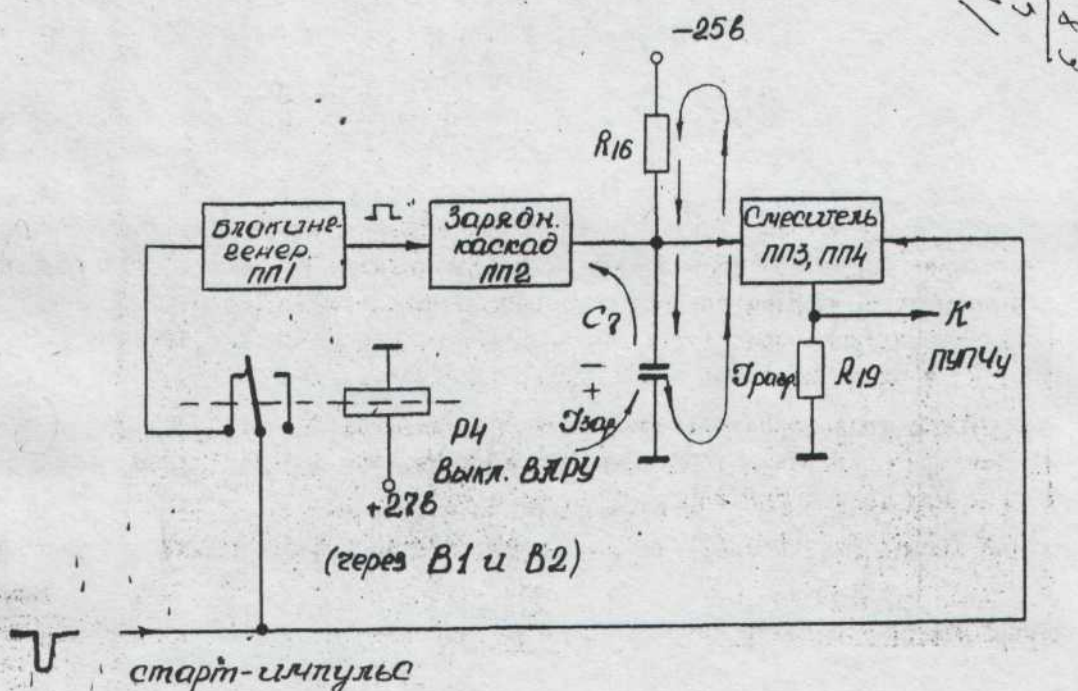


Рис. 3.12. Функциональная схема ВАРУ.

В нее входят: ждущий блокинг-генератор (ЖБГ), собранный на транзисторе ПП1, зарядный каскад (ПП2), времязадающая цепочка ($C7, R_{13}, R_{12}, R_{16}$), несуммирующий смеситель (ПП3, ПП4).

Когда реле R_4 обесточено, старт-импульс модулятора запускает ЖБГ, который выдает импульс положительной полярности, открывающий зарядный каскад. При этом происходит заряд конденсатора $C7$ по цепи с малой постоянной времени. Когда импульс ЖБГ заканчивается, зарядный каскад закрывается и возникает разряд конденсатора по цепи с большой постоянной времени.

На конденсаторе $C7$ во время разряда формируется импульс ВАРУ экспоненциальной формы отрицательной полярности. Он подается на базу левого транзистора в схеме смесителя. На базу правого транзистора подается старт-импульс отрицательной полярности.

Оба импульса смешиваются, и на нагрузке смесителя появляется импульс отрицательной полярности, показанный на рисунке 3.11, который воздействует на транзисторы ПУПЧ и автоматически регулирует коэффициент усиления ПУПЧ во времени.

Принципиальная схема ВАРУ приведена на рисунке 3.13.

Идущий блокинг-генератор. ЖБГ собран на транзисторе ПП1 (1Т308В, р - л - р) и предназначен для создания импульса с крутым передним фронтом, необходимого для формирования импульса ВАРУ.

Схема ЖБГ отличается от типовой отсутствием конденсатора, определяющего длительность импульса. В таких схемах длительность импульса зависит от постоянной времени LR -цепи, включенной в цепь базы.

Исходный режим. Транзистор закрыт напряжением, существующим на резисторе R_2 за счет тока источника -25 в (резисторы R_2 и R_4 образуют делитель в цепи источника).

Динамика. Транзистор ЖБГ открывается под действием старт-импульса отрицательной полярности, поступающего непосредственно на базу. Появляются базовый и коллекторный токи. Нарастание коллекторного тока вызывает появление в обмотке обратной связи трансформатора Тр1 э.д.с. взаимной индукции отрицательной полярности, которая вызывает лавинообразный процесс нарастания базового и коллекторного токов.

Этот процесс происходит до тех пор, пока ток коллектора не достигнет значения тока насыщения. В этот момент э.д.с. взаимной индукции в обмотке обратной связи исчезает (ток в цепи коллектора не изменяется), и ток базы начинает уменьшаться, что вызывает появление в этой обмотке э.д.с. самоиндукции отрицательной полярности, которая поддерживает транзистор в состоянии насыщения. Через некоторое время базовый ток уменьшится настолько, что транзистор выйдет из состояния насыщения, коллекторный ток начнет уменьшаться, в обмотке обратной связи появится э.д.с. взаимной индукции положительной полярности, под действием которой транзистор мгновенно закроется и схема вернется в исходное состояние.

В выходной обмотке трансформатора возникают два импульса: импульс отрицательной полярности, появляющийся при нарастании тока коллектора, и импульс положительной полярности, появляющийся при спадании тока коллектора.

Отрицательный импульс не используется, он срезается диодом Д2 (защита транзистора ПП2 от пробоя).

Положительный импульс через делитель R_6, R_7 и конденсатор С4 подается на базу транзистора ПП2.

Диод Д1 защищает транзистор ПП1 от пробоя промежутка база-коллектор при положительной э.д.с. на базе (на коллекторе в это время существует суммарное отрицательное напряжение, равное напряжению источника -25 в, и э.д.с. самоиндукции коллекторной обмотки, тоже порядка -25 в).

Зарядный каскад. Собран на транзисторе ПП2 (2Т301Г, л - р - л). Питается от источника -25 в. Резисторы R_{11}, R_{10}, R_8 образуют делитель напряжения. Падение напряжения, возникающее на резисторе R_{10} , закрывает транзистор в исходном режиме ("минус" на базе относительно эмиттера).

К коллектору присоединена времязадающая цепочка $R_{16}, R_{12}, R_{13}, C7$. Конденсатор С7 разряжен.

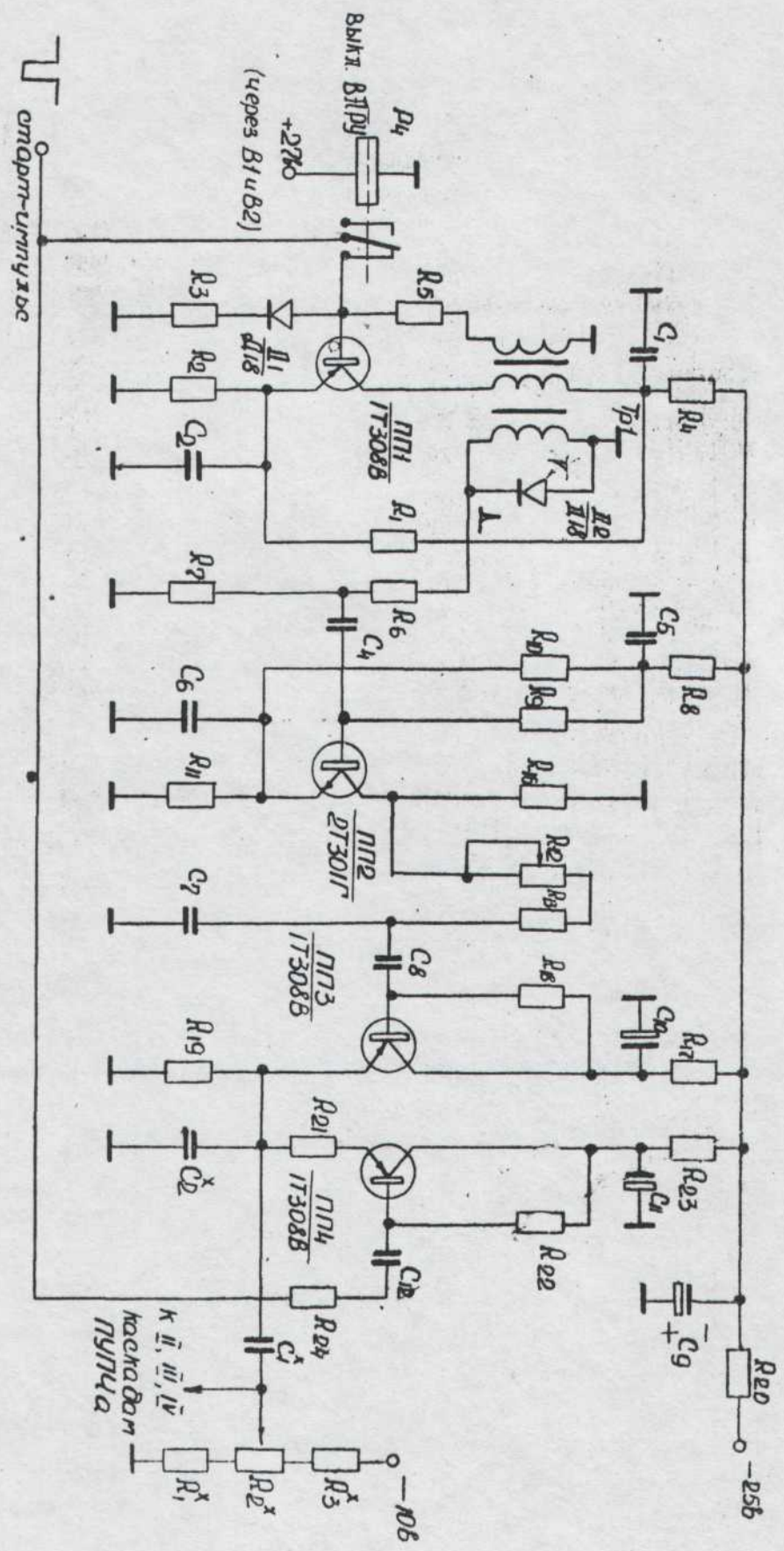


Рис. 3.13. Принципиальная схема ВАРУ.

Динамика. Под действием импульса положительной полярности, поступающего от ЖБГ, транзистор открывается и возникает цепь для тока заряда конденсатора С7. Он проходит: корпус ("плюс" источника -25 в) $\rightarrow$ С7 $\rightarrow$ R₁₃, R₁₂ $\rightarrow$ переход коллектор-эмиттер (ПП2) $\rightarrow$ R₁₀, R₈ $\rightarrow$ источник -25 в. Конденсатор С7 заряжается быстро, так как сопротивления резисторов R₁₃, R₁₂, R₁₀, R₈ малы.

Как только импульс ЖБГ закончится, транзистор закроется и возникает разряд конденсатора С7. Ток разряда проходит по цепи: С7 $\rightarrow$ корпус $\rightarrow$ R₁₆ $\rightarrow$ R₁₂, R₁₃ $\rightarrow$ С7.

Сопротивление резистора R₁₆ велико, поэтому разряд происходит медленно.

Несуммирующий смеситель. Предназначается для смешивания старт-импульса, используемого в качестве бланкирующего, с импульсом ВАРУ. Собирается на двух транзисторах ПП3, ПП4 (1Т308В, $\rho - n - \rho$) с общей нагрузкой в цепи эмиттеров (R₁₉).

Исходный режим. Оба транзистора открыты, но рабочие точки находятся в самом начале входных характеристик. Исходные токи очень малы.

Динамика. На базу транзистора ПП3 подается импульс ВАРУ (с конденсатора С7 через конденсатор С8). На базу транзистора ПП4 подается старт-импульс из схемы модулятора (через R₂₁, С12).

Вследствие глубокой обратной связи сложение импульсов на резисторе R₁₉ не происходит, так как под действием старт-импульса на резисторе R₁₉ возникает падение напряжения, закрывающее транзистор ПП3.

Как только старт-импульс закончится, транзистор ПП3 открывается и на резисторе R₁₉ появляется импульс ВАРУ, который через конденсатор С1 подается в схему ПУПЧ и попадает через цепочки R₇, С10; R₁₂, С15; R₁₅, С19 на катоды диодов Д1, Д2, Д3.

Постоянная времени указанных RC-цепочек выбрана такой, что форма импульса ВАРУ не искажается.

Во время действия старт-импульсов транзисторы ПУПЧ (ПП1, ПП2, ПП3) закрываются, чем обеспечивается защита их от просачивающихся импульсов передатчика.

§ 6. Усилитель промежуточной частоты (УПЧ)

В УПЧ происходит основное усиление принятого сигнала, обеспечивающее высокую чувствительность приемника. Коэффициент усиления изменяется с изменением силы принимаемого сигнала. Минимальное его значение, соответствующее сильным сигналам, - 2500.

Полоса пропускания - 1,8 - 2,0 мГц.

Широкая полоса пропускания необходима для усиления импульсов малой длительности без искажения и для обеспечения приема при автоматической подстройке частоты.

Амплитудная характеристика УПЧ - логарифмическая (рис. 3.14), начальный участок ее линеен. Такая форма амплитудной характеристики обеспечивает сжатие динамического диапазона входных напряжений УПЧ, что необходимо для приближения его к динамическому диапазону управляющих напряжений ЭЛТ.

Динамический диапазон входных напряжений радиолокационного приемника очень широк

(К дин. вх. = $\frac{U_{\text{вх. max}}}{U_{\text{вх. min}}} = 10^4$), а динамический диапазон управляющих напряжений ЭЛТ очень узок (К дин. элт = $\frac{U_{\text{упр. max}}}{U_{\text{упр. min}}} = 12$). Для того, чтобы принятые сигналы можно было

использовать для управления яркостью электронного луча (для модуляции его), необходимо динамический диапазон принятых сигналов сжать, т.е. максимально приблизить к динамическому диапазону управляющих напряжений ЭЛТ.

$$U_{\text{вых}} = K \lg U_{\text{вх}}$$

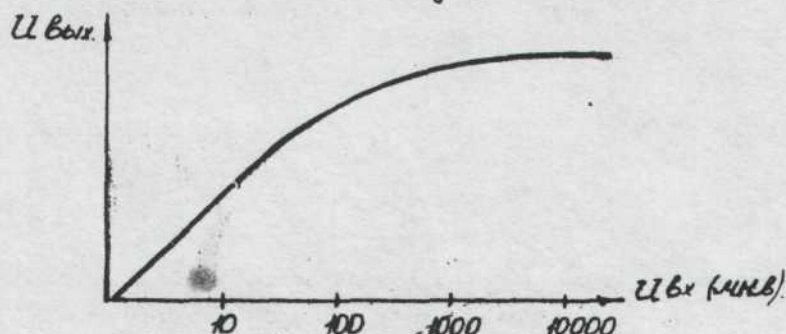


Рис. 3.14. Логарифмическая амплитудная характеристика УПЧ.

Такое сжатие динамического диапазона осуществляется в УПЧ, благодаря логарифмической амплитудной характеристике (ЛАХ).

Функциональная схема панели УПЧ приведена на рисунке 3.15. Она содержит шесть усилительных каскадов (ПП1; ПП2, ПП3; ПП5, ПП6; ПП8, ПП9; ПП11, ПП12; ПП14, ПП15), видеодетектор (Д1), суммирующий усилитель с шестью входами (ПП4, ПП7, ПП10, ПП13, ПП16, ПП17) и с общей нагрузкой (R_{57}) и выходной эмиттерный повторитель (ПП18).

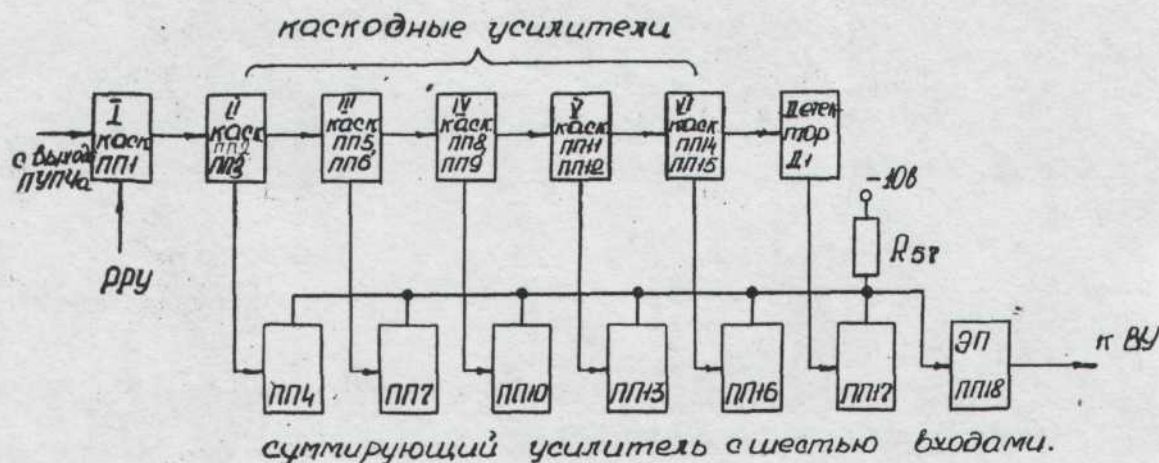


Рис. 3.15. Функциональная схема УПЧ.

Во всех каскадах, кроме ЭП, используются высокочастотные экранированные транзисторы типа 1Т313Б (р-н-р). В схеме ЭП используется транзистор типа 2Т301Т (н-р-н).

Первый усилительный каскад собран по обычной схеме с общим эмиттером, а остальные пять — по каскодной схеме. Каскодная схема обеспечивает устойчивую работу без применения нейтрализации внутренней обратной связи.

При увеличении силы принимаемого сигнала усилители, собранные по каскодной схеме, из линейного режима переходят в режим детектирования. Первым в режим детектирования переходит последний каскад УПЧ, так как на его базу подается сигнал с наибольшей амплитудой. При дальнейшем увеличении силы сигнала в режим детектирования переходит также пятый каскад УПЧ, а затем четвертый и т.д. При приеме очень сильных сигналов в режим детектирования переходят все каскодные усилители.

При возникновении детектирования происходит следующее:

- рабочая точка на входной характеристике смещается влево и коэффициент усиления каскада уменьшается, возникает ограничение;
- появляющийся при детектировании видеоимпульс передается на базу одного из транзисторов

суммирующего усилителя.

При приеме слабых сигналов напряжение промежуточной частоты с выхода ПУПЧ поступает на вход УПЧ, последовательно усиливается всеми шестью каскадами и поступает на видеодетектор.

Видеодетектор выделяет видеоимпульс, который через последний каскад суммирующего усилителя подается на ЭП и далее по кабелю передается в блок ГР4В на вход видеоусилителя.

Усилитель работает в линейном режиме, детектирование в каскодных усилителях не происходит поэтому через суммирующий усилитель передается только импульс детектора.

При приеме сильных сигналов, вне зависимости от их силы, вследствие ограничения, на видеодетектор подаются импульсы промежуточной частоты с постоянной амплитудой, поэтому и импульсы, выделяемые детектором, имеют постоянную амплитуду.

На входы суммирующего усилителя подаются видеоимпульсы, появляющиеся в результате возникновения детектирования в каскодных усилителях, которые суммируются на резисторе R_{57} с видеоимпульсом, выделяемым детектором, и через ЭП подаются на вход ВУ.

Чем сильнее сигнал, тем больше каскодных усилителей переходит в режим детектирования, тем больше амплитуда выходного импульса.

УПЧ питается от двух источников: -10 в и $+10$ в, соединенных последовательно. Средняя точка между источниками заземлена.

Принципиальная схема панели УПЧ приведена на рисунке 3.16. Все каскодные усилители собраны по одинаковой схеме, поэтому на приведенной схеме показаны только первый и последний каскодные усилители.

Все контуры в схеме УПЧ настроены на 30 мГц.

Первый каскад УПЧ. Нагрузкой первого каскада, собранного по схеме с общим эмиттером, служит двухконтурный полосовой фильтр (L_1 , $C3$ и L_2 , $C6$, $C7$) с индуктивно-емкостной связью. Связь между контурами критическая.

Выбор положения рабочей точки осуществляется с помощью резистора R_7 . Отрицательное напряжение (относительно эмиттера) с резисторов R_7 , R_8 подается на базу транзистора ППЧ и определяет величину усиления каскада.

На входе используется также полосовой фильтр, с помощью которого осуществляется согласование волнового сопротивления кабеля с входным сопротивлением первого каскада.

Исходный режим. Транзистор открыт. Базовый ток проходит по цепи: источник $+10$ в $\rightarrow$ фильтр (Др10, $C37$ Др2, $C12$) $\rightarrow$ часть резистора R_7 $\rightarrow$ R_6, R_5 $\rightarrow$ переход эмиттер-база $\rightarrow$ L_9 $\rightarrow$ корпус ("минус" источника $+10$ в).

Ток коллектора проходит до транзистора по цепи базового тока и далее через переход эмиттер-коллектор $\rightarrow$ L_1 $\rightarrow$ R_4 $\rightarrow$ фильтр (Др1, $C9$ Др12, $C40, 41$) $\rightarrow$ R_{32} $\rightarrow$ источник -10 в.

Динамика. Напряжение промежуточной частоты, передаваемое из ПУПЧ, со вторичной обмотки трансформатора (L_9) попадает на базу и вызывает появление переменной составляющей тока базы, которая проходит по цепи: L_9 $\rightarrow$ корпус $\rightarrow$ $C4$ $\rightarrow$ R_5 $\rightarrow$ переход эмиттер-база $\rightarrow$ L_9 .

Под действием тока базы возникает переменная составляющая тока коллектора, которая проходит по цепи: коллектор $\rightarrow$ $L_1, C3$ $\rightarrow$ $C2$ $\rightarrow$ корпус $\rightarrow$ $C4$ $\rightarrow$ R_5 $\rightarrow$ переход эмиттер-коллектор.

Под действием тока коллектора в контуре $L_1, C3$ возникает контурный ток.

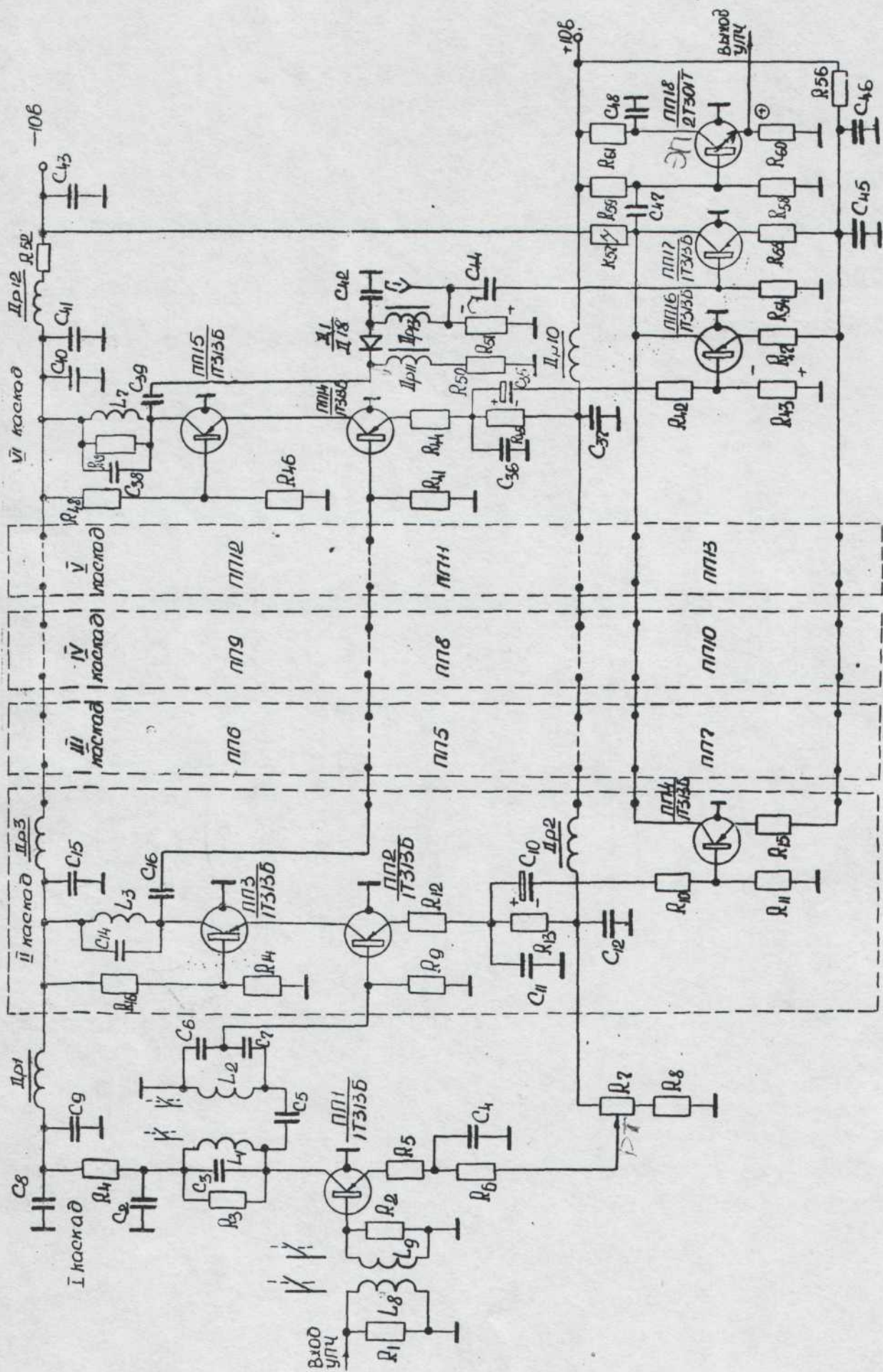


Рис. 3.16. Принципиальная схема УПЧ.

Ток коллектора больше тока базы в β - раз (β - коэффициент усиления по току для схемы с общим эмиттером). Ток контура в Q раз больше тока коллектора (Q - добротность контура).

При критической связи и при одинаковой добротности контуров ток вторичного контура равен току первичного.

Часть тока вторичного контура образует базовый ток транзистора ПП2.

С целью согласования транзистор ПП2 присоединен к конденсатору C_6 (а не ко всему контуру), который по отношению к транзистору ПП2 является источником переменной составляющей базового тока.

Резисторы R_5 , R_6 создают отрицательную обратную связь по постоянному току, которая повышает температурную стабильность работы транзистора.

Кроме того, резистор R_5 создает отрицательную обратную связь по переменному току, повышающую устойчивость работы каскада.

Каскодный усилитель (ПП2, ПП3).

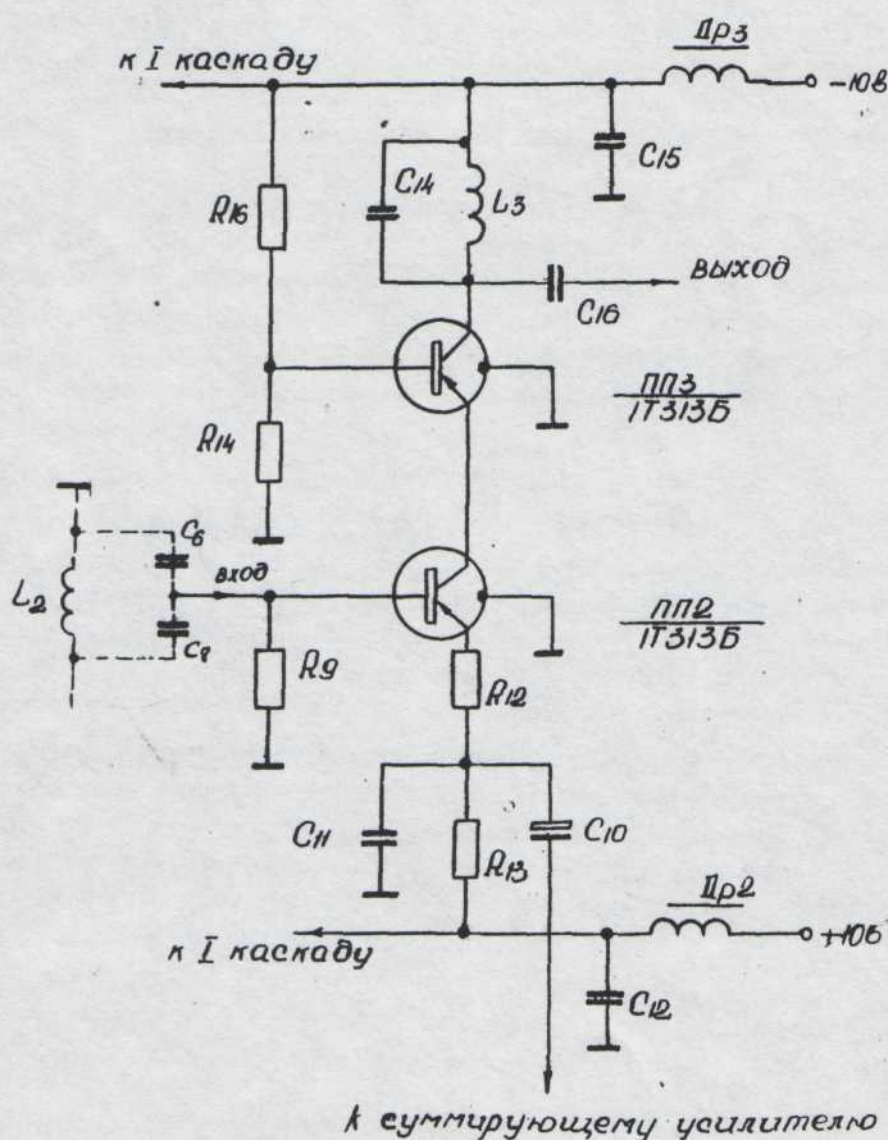


Рис. 3.17. Выборочная схема П каскада УПЧ.

Каскодные усилители собраны по одинаковой схеме, поэтому ниже рассматривается только схема одного каскодного усилителя, используемого во втором каскаде УПЧ.

Как сказано выше, каскодная схема работает достаточно устойчиво без применения нейтрализации внутренней обратной связи. Устойчивость работы повышается также благодаря применению экранированных транзисторов.

Выборочная схема второго каскада УПЧ приведена на рис. 3.17.

Использована каскодная схема типа "общий эмиттер (ПП2) - общая база (ПП3)", в которой коллекторные цепи транзисторов соединены последовательно.

Нагрузкой транзистора ПП2 служит входное сопротивление транзистора ПП3. Коэффициент усиления такой схемы равен коэффициенту усиления второго каскада (ПП3).

Контур L_3 , C_{14} , настроенный на частоту 30 мГц, включен в цепь коллектора транзистора ПП3.

Связь между контуром L_3 , C_{14} и контуром L_2 , C_6 , C_7 оказыва-

ется очень слабой (через два коллекторных перехода), что и обеспечивает устойчивую работу схемы.

Рабочая точка на входной характеристике транзистора ПП2 выбрана так, что при слабых сигналах усиление оказывается линейным, а при сильных сигналах происходит отсечка, т.е. возникает детектирование (рис. 3.18).

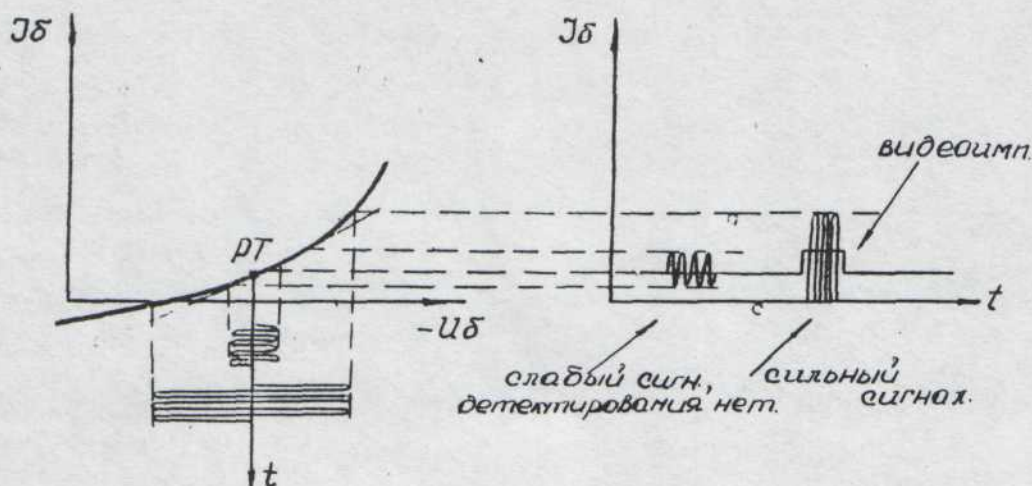


Рис. 3.18. К вопросу о выборе рабочей точки.

Нагрузкой детектора служит резистор R_{13} , с которого импульс отрицательной полярности через конденсатор $C10$ и делитель R_{10}, R_{11} подается на базу транзистора ПП4 суммирующего усилителя.

Исходный режим. Оба транзистора открыты. Базовый ток транзистора ПП2 проходит по цепи: источник $+10$ в $\rightarrow$ фильтр $\rightarrow R_{13}, R_{12} \rightarrow$ переход эмиттер-база $\rightarrow R_9 \rightarrow$ корпус ("минус" источника $+10$ в).

Ток коллектора транзистора ПП2 образует эмиттерный ток транзистора ПП3. Он проходит по цепи: источник $+10$ в $\rightarrow$ фильтр $\rightarrow R_{13}, R_{12} \rightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП2) $\rightarrow$ и разделяется на ток базы и ток коллектора транзистора ПП3.

Ток базы далее проходит: переход эмиттер-база (ПП3) $\rightarrow R_{16} \rightarrow$ фильтр $\rightarrow R_{52} \rightarrow$ источник -10 в.

Ток коллектора далее проходит: переход эмиттер-коллектор (ПП3) $\rightarrow L_3 \rightarrow$ фильтр $\rightarrow R_{52} \rightarrow$ источник -10 в.

Величина тока коллектора транзистора ПП2 зависит, во-первых, от исходного тока базы (ПП2) и, во-вторых, от сопротивления нагрузки (входное сопротивление транзистора ПП3), величина которого зависит от исходного напряжения на базе (ПП3), определяемого делителем R_{16}, R_{14} .

На базе транзистора ПП2 относительно эмиттера существует небольшое отрицательное напряжение (доли вольта), так как почти все напряжение источника $+10$ в падает на резисторах R_{13}, R_{14} за счет тока эмиттера и на резисторе R_9 — за счет тока базы.

Динамика. При появлении сигнала на входе УПЧ на конденсаторе $C6$ возникает напряжение промежуточной частоты, под действием которого появляется переменная составляющая тока базы транзистора ПП2, проходящая по цепи: $C6 \rightarrow$ корпус $\rightarrow C11 \rightarrow R_{12} \rightarrow$ переход эмиттер-база $\rightarrow C6$.

Под действием тока базы возникает переменная составляющая тока коллектора, проходящая по двум цепям:

- первая цепь: коллектор (ПП2) $\longrightarrow$ переход эмиттер-база (ПП3) $\longrightarrow R_{11} \longrightarrow$ корпус $\longrightarrow C_{11} \longrightarrow R_{12} \longrightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП2);

- вторая цепь: коллектор (ПП2) $\longrightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП3) $\longrightarrow L_3, C_{14} \longrightarrow C_{15} \longrightarrow$ корпус $\longrightarrow C_{11} \longrightarrow R_{12} \longrightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП2).

На контуре L_3, C_{14} возникает усиленное напряжение промежуточной частоты, которое вызывает появление переменной составляющей базового тока транзистора ПП5, входящего в состав каскодного усилителя третьего каскада УПЧ.

Видеодетектор предназначен для преобразования импульсных сигналов промежуточной частоты в сигналы видеочастоты, т.е. в видеоимпульсы, форма которых соответствует форме огибающей подвсдвигимых к детектору сигналов промежуточной частоты.

В качестве нелинейного элемента используется диод Д1 типа Д18. Нагрузкой служит резистор R_{51} . Конденсатор С42 создает путь для составляющих тока диода высокой частоты ($f_{np}, 2f_{np}, 3f_{np}$ и т.д.). Дроссель Др13 - заградительный для тех же токов. Цепь $R_{50}, Др11$ создает путь для прохождения видеоимпульсной составляющей тока диода, являющейся полезным результатом детектирования.

Она проходит по цепи: диод Д1 $\longrightarrow$ Др11 $\longrightarrow R_{50} \longrightarrow R_{51} \longrightarrow$ Др13 $\longrightarrow$ диод Д1. На резисторе R_{51} возникают видеоимпульсы отрицательной полярности, которые через конденсатор С44 подаются на базу последнего транзистора (ПП17) суммирующего усилителя.

Суммирующий усилитель предназначен для получения логарифмической амплитудной характеристики УПЧ. В состав усилителя входят шесть транзисторов (функциональная схема УПЧ, рис. 3.15), работающих на общую нагрузку R_{57} .

Питается суммирующий усилитель от двух источников: +10 в и -10 в.

Исходный режим. В исходном режиме все транзисторы открыты.

Рассмотрим прохождение токов на примере транзистора ПП4. Цепь базового тока: источник +10 в $\longrightarrow R_{56} \longrightarrow R_{15} \longrightarrow$ переход эмиттер-база (ПП4) $\longrightarrow R_{11} \longrightarrow$ корпус ("минус" источника +10 в).

Цепь тока коллектора: источник +10 в $\longrightarrow R_{56} \longrightarrow R_{15} \longrightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП4) $\longrightarrow R_{57} \longrightarrow$ источник -10 в.

Динамика. На вход каждого из первых пяти транзисторов подаются импульсы отрицательной полярности от одного из каскодных усилителей, возникающие при переходе последних в режим детектирования.

На вход шестого транзистора подаются видеоимпульсы с резистора нагрузки детектора.

Сложение импульсов происходит на резисторе R_{57} , включенном в общую коллекторную цепь всех шести транзисторов.

Выходные импульсы положительной полярности через конденсатор С47 подаются на ЭП (ПП18).

Как сказано выше, при увеличении силы принимаемого сигнала амплитуда выходного импульса детектора, после того, как она достигает определенной величины, больше почти не увеличивает (вследствие ограничения, возникающего в каскадах УПЧ). Однако амплитуда выходных импульсов панели УПЧ увеличивается, так как все большее число каскадов УПЧ переходит в режим детектирования и суммирующий усилитель выдает импульсы с большей амплитудой.

В других типах РЛС сложение импульсов, возникающих при детектировании в каскадах УПЧ происходит через задерживающие линии, которые позволяют получить результирующий импульс крутым передним фронтом.

В РЛС "Гроза" для упрощения схемы задерживающая линия не применяется, вследствие чего

сложение импульсов происходит с незначительным сдвигом по времени, который равняется времени прохождения сигнала от одного каскада УПЧ к другому.

Наибольший сдвиг по времени между импульсами второго каскада УПЧ и импульсами детектора не превышает одной микросекунды. Этот сдвиг уменьшает крутизну фронтов и несколько увеличивает длительность выходных импульсов, что, исходя из основного назначения РЛС (метеорологический локатор), не играет существенной роли.

Выходной эмиттерный повторитель предназначен для согласования выходного сопротивления суммирующего усилителя с волновым сопротивлением кабеля, по которому видеоимпульсы с выхода панели УПЧ передаются в блок индикатора (ГР4В) на вход видеоусилителя.

Собран на транзисторе ПП18 (2Т301Т, $n-p-n$), питается от источника +10 в.

В исходном режиме транзистор открыт. На базе существует положительное напряжение (доли вольта).

Под действием импульсов положительной полярности, поступающих на базу с выхода суммирующего усилителя, ток коллектора резко увеличивается, и на резисторе нагрузки (R_{60}) возникают выходные видеоимпульсы положительной полярности, которые непосредственно (без конденсатора) передаются на вход видеоусилителя (ГР4В).

§ 7. Видеоусилитель

Предназначается для усиления видеоимпульсов, поступающих с выхода панели УПЧ, до уровня, необходимого для модуляции электронного луча ЭЛТ.

При переключении режимов работы РЛС схема видеоусилителя видоизменяется и амплитудные характеристики оказываются разными.

В режиме "Земля" амплитудная характеристика имеет две ступени (рис. 3.19). Одна ступень соответствует слабым сигналам, возникающим при отражении от незастроенных участков местности. Эти сигналы образуют на экране фон местности, на котором выделяются ориентиры, поэтому усилитель, усиливающий эти сигналы, называется усилителем "фона" (ПП2).

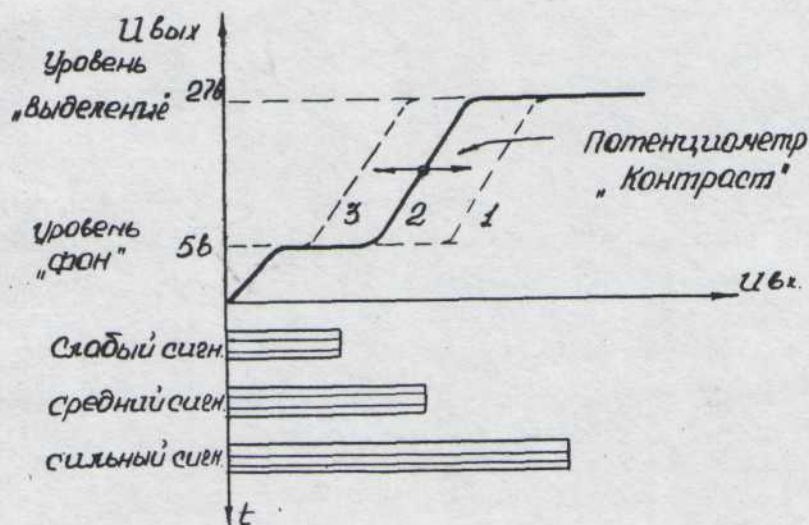


Рис. 3.19. Амплитудная характеристика ВУ в режиме "Земля".

Вторая ступень соответствует сильным сигналам, возникающим при отражении от радиолокационных ориентиров. Они "выделяются" на фоне местности, поэтому усилитель, который усиливает эти сигналы, называется усилителем "Выделения" (ПП1).

Видеоусилители, имеющие двухступенчатые амплитудные характеристики, называются трехтоновыми ВУ, так как они обеспечивают получение на экране индикатора РЛС изображения с тремя световыми тонами: сигнал отсутствует — на экране возникают темные контуры; при слабых сигналах на экране возникает слабо светя-

щийся фон местности; при приеме сильных сигналов на фоне местности появляются яркие отметки, соответствующие радиолокационным ориентирам.

В режиме "Контур", служащем для выделения среди облачности зон, опасных для прохождения самолета, сильные сигналы подавляются. Поэтому при определенном уровне входного сигнала амплитудная характеристика имеет излом, после которого усиление падает до нуля и сигналы на выходе ВУ отсутствуют (рис. 3.20).

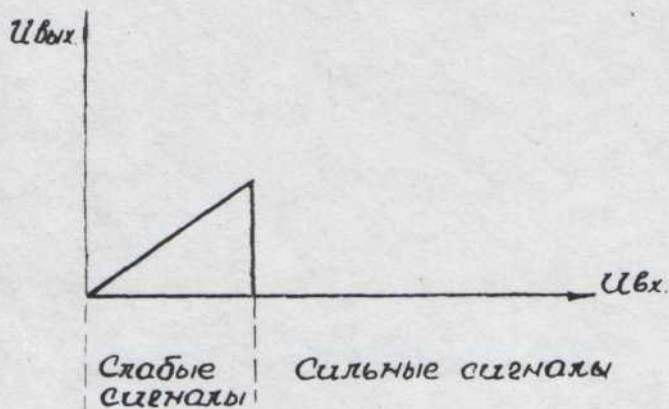


Рис. 3.20. Амплитудная характеристика ВУ в режиме "Контур".

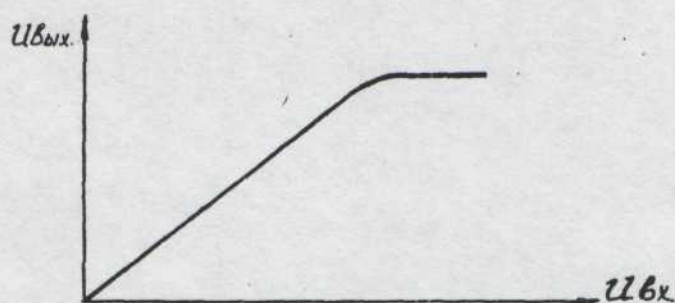


Рис. 3.21. Амплитудная характеристика ВУ в режимах "Метео" и "Снос".

В режиме "Метео", служащем для обнаружения гроз, горных вершин и других препятствий, амплитудная характеристика линейна и только при приеме очень сильных сигналов происходит ограничение (рис. 3.21).

В режиме "Снос", как и в режиме "Метео", используется линейная амплитудная характеристика.

Функциональная схема видеоусилителя для режима "Земля" приведена на рисунке 3.22.

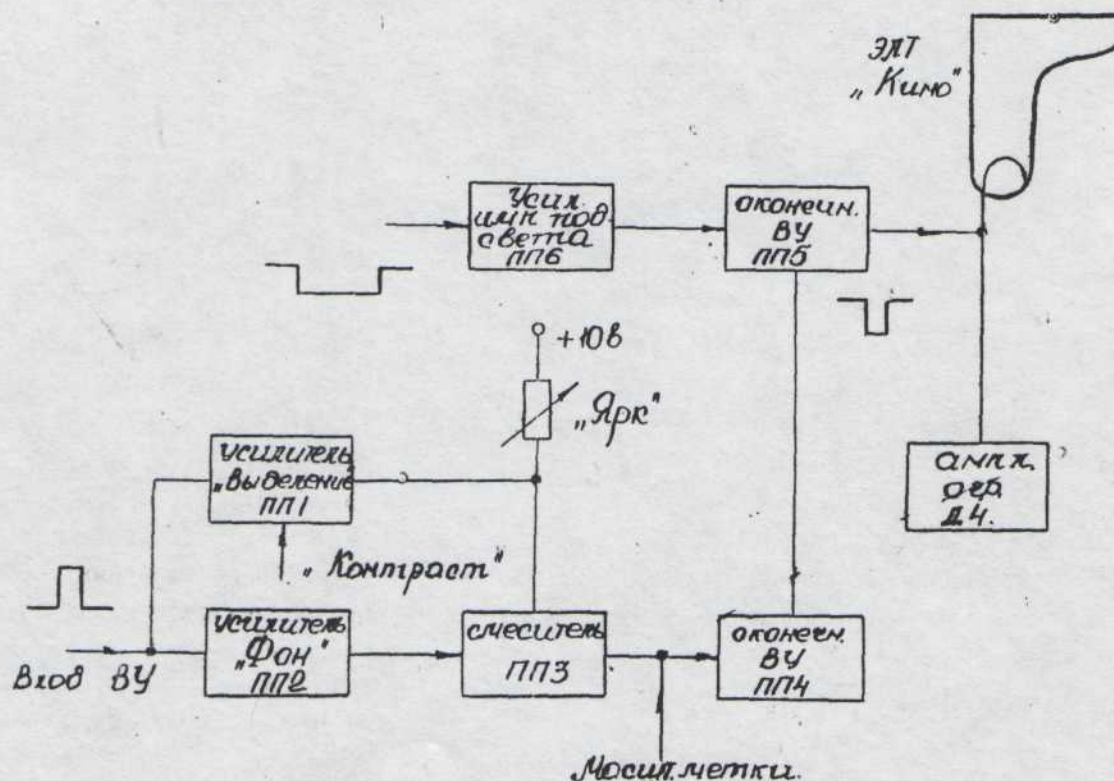


Рис. 3.22. Функциональная схема видеоусилителя (режимы "Земля" и "Снос").

Видеоимпульсы с выхода панели УПЧ положительной полярности передаются на вход ВУ и попадают на усилители "Фон" и "Выделение".

Усилитель "Фон" представляет собой ЭП, поставленный в режим ограничения "сверху", вследствие чего и образуется первая ступень амплитудной характеристики. Уровень этой ступени устанавливается заранее, и регулировка в полете не предусмотрена.

Усилитель "Выделение" поставлен в режим ограничения "снизу" и вступает в работу только при приеме сильных сигналов. Уровень ограничения "снизу" регулируется потенциометром "Контраст" на блоке ГР4В.

Сигналы с усилителя "Фон" положительной полярности подаются на вход смесителя (ПП3), где смешиваются с сигналами усилителя "Выделение" и с импульсами масштабных меток, поступающими в коллекторную цепь смесителя.

В схеме оконечного видеоусилителя используются два транзистора (ПП4, ПП5), коллекторные цепи которых соединены последовательно.

На базу транзистора ПП4 подаются сигналы "Фона" и "Выделения" и масштабные метки отрицательной полярности.

Транзистор ПП5 в исходном режиме закрыт, следовательно, транзистор ПП4 также закрыт (общая коллекторная цепь), и сигналы на катод ЭЛТ не поступают.

На базу транзистора ПП5 подаются (через усилитель ПП6) импульсы подсвета положительной полярности, длительность которых равна длительности импульсов развертки для выбранного масштаба.

Импульсы подсвета открывают транзистор ПП5, и при этом импульсы, существующие на входе транзистора ПП4, попадают на катод ЭЛТ, открывают ее, и на экране при прямом ходе луча появляется разнояркостная линия (если предположить, что антенна не сканируется).

Как только электронный луч достигает края экрана, импульс подсвета заканчивается, оконечный видеоусилитель закрывается, поэтому обратный ход луча не ухудшает изображение и исключается возможность появления ложных отметок от дальних целей, отраженные сигналы которых приходят во время обратного хода луча.

В режимах "Метео" и "Снос" усилитель "Выделение" отключается от схемы, а усилитель "Фон" работает как обычный эмиттерный повторитель, без ограничения.

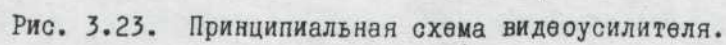
В режиме "Контур" усилитель "Выделение" включается так, что его сигнал вычитается из сигнала усилителя "Фон". При определенном уровне сигнала на входе ВУ сигнал усилителя "Фон" полностью компенсируется сигналом усилителя "Выделение". При этом на выходе ВУ сигнал отсутствует, ЭЛТ остается закрытой и на экране появляется темный контур, соответствующий по конфигурации опасной зоне.

Принципиальная схема видеоусилителя приведена на рисунке 3.23.

Видеоусилитель смонтирован на отдельной панели, расположенной в блоке ГР4В, и только отдельные детали, отмеченные на схеме (рис. 3.23) звездочкой, расположены вне панели ВУ.

Принципиальная схема ВУ. Для облегчения рассмотрения схемы ВУ первоначально воспользуемся упрощенными выборочными схемами для каждого режима. Транзисторы ВУ сильно связаны друг с другом, поэтому целесообразно рассматривать схему не по-каскадно, а в целом, от входа до оконечного ВУ.

Наиболее простая схема используется в режимах "Метео" и "Снос" (рис. 3.24), с которой и начнем анализ.



Исходный режим. Транзистор ПП2 (МП16Б, р - n - р) открыт, так как "плюс" на базе ($U_{B2} = +U_{R6} - U_{R5}$, $U_{R5} < U_{R6}$).

Транзистор ПП3 (2Т312А, n - р - n) открыт, так как "плюс" на базе ($U_{B3} = U_{B2} = +U_{R6} - U_{R5}$) больше, чем "плюс" на эмиттере ($U_{E3} = -10\text{В} + U_{R8,9,10}$).

Исходное состояние транзистора ПП4 (МП16Б, р - n - р) зависит от положения движка потенциометра "Яркость" (R_4). Предположим, что он закрыт, при этом "шумы" на экране не видны.

Для того, чтобы транзистор ПП4 был закрыт, падение напряжения на резисторе R_4 должно быть меньше 10 в, тогда результирующее напряжение на базе ($U_{B4} = +10\text{В} - U_{R4}$) положительно.

Так как транзистор ПП3 питается от двух источников (+10 в и -10 в), падение напряжения на резисторе R_4 может быть больше 10 в, тогда U_{B4} отрицательно и транзистор ПП4 будет открыт (по цепи базы).

Динамика. Под действием импульсов положительной полярности, возникающих на резисторе R_{60} , эмиттерный ток транзистора ПП2 уменьшается и на резисторе R_5 появляются импульсы положительной полярности, которые подаются на базу транзистора ПП3 и вызывают увеличение тока коллектора.

Падение напряжения на резисторе R_4 увеличивается, оно становится больше 10 в, и транзистор ПП4 открывается.

Режим "Контур". Упрощенная выборочная схема ВУ для этого режима приведена на рис.3.26.

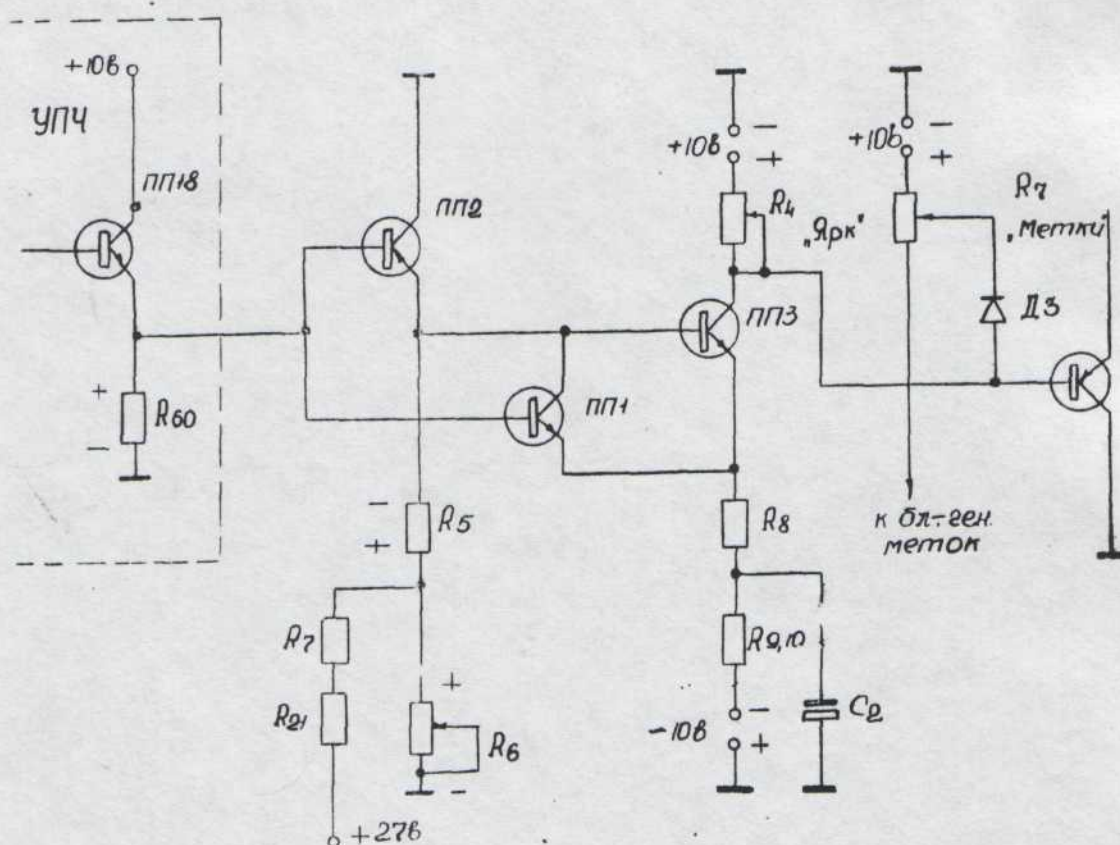


Рис. 3.26. Упрощенная выборочная схема ВУ для режима "Контур".

Режим "Контур" отличается от режимов "Метео" и "Снос" следующим:

- амплитудная характеристика при определенном значении входного напряжения ($U_{вх}$) имеет излом (рис. 3.21) и при дальнейшем увеличении $U_{вх}$ выходное напряжение падает до нуля;
- используется транзистор ПП1 (2Т312А, $n-p-n$), коллектор которого подключается к эмиттеру транзистора ПП2, а эмиттер - к эмиттеру транзистора ПП3;
- напряжение питания транзистора ПП2 уменьшается за счет включения резистора R_{21} в состав делителя. При этом входная характеристика транзистора ПП2 (рис. 3.25, кривая 2) перемещается влево, при сильных входных сигналах транзистор закрывается и возникает ограничение импульсов "сверху".

Исходный режим. Транзисторы ПП2, ПП3, ПП4 находятся в таком состоянии, как и в режимах "Метео" и "Снос". Транзистор ПП1 открыт. Рабочая точка находится в начале входной характеристики транзистора ПП1.

Ток коллектора транзистора ПП1 проходит по цепи: источник +27 в $\rightarrow R_{21,7} \rightarrow R_5 \rightarrow$ переход коллектор-эмиттер (ПП1) $\rightarrow R_{8,9,10} \rightarrow$ источник -10 в $\rightarrow$ корпус ("минус" источника +27 в).

Динамика. Под действием импульсов положительной полярности ток коллектора транзистора ПП2 уменьшается, а транзистора ПП1 - увеличивается. Но уменьшение тока коллектора транзистора ПП2 оказывается более значительным, чем увеличение тока транзистора ПП1, поэтому на резисторе R_5 существуют импульсы положительной полярности, поступающие на базу транзистора ПП3.

Рабочие точки на входных характеристиках выбраны таким образом и транзисторы ПП2 и ПП1 поставлены в такой режим, что при увеличении амплитуды входного импульса увеличивается амплитуда выходного импульса ВУ.

Так работает схема до тех пор, пока амплитуда входных импульсов не увеличится настолько, что изменения токов транзисторов ПП2 и ПП1 будут одинаковыми. Тогда импульсное падение напряжения на резисторе R_5 станет равным нулю, а на базу транзистора ПП3 импульсы не пойдут.

При дальнейшем увеличении входного сигнала на резисторе R_5 будут возникать (за счет увеличения тока транзистора ПП1) импульсы отрицательной полярности, закрывающие транзистор ПП3.

Сказанное иллюстрируется рисунком 3.27, на котором показана зависимость коллекторных токов транзисторов ПП1 и ПП2 от амплитуды входных импульсов.

Важно отметить, что в отличие от других РЛС анализируемая схема контурной индикации не требует в полете никаких регулировок: сперва, в режиме "Метео", просматривается метеообстановка, выбирается масштаб и устанавливается желаемая яркость изображения. На экране РЛС опасные зоны в режиме "Метео" просматриваются в виде отметок повышенной яркости с размытыми границами.

Затем осуществляется переход в режим "Контур", и на месте отметок повышенной яркости на экране появляются темные контуры с резко очерченными границами (глава I, § 5).

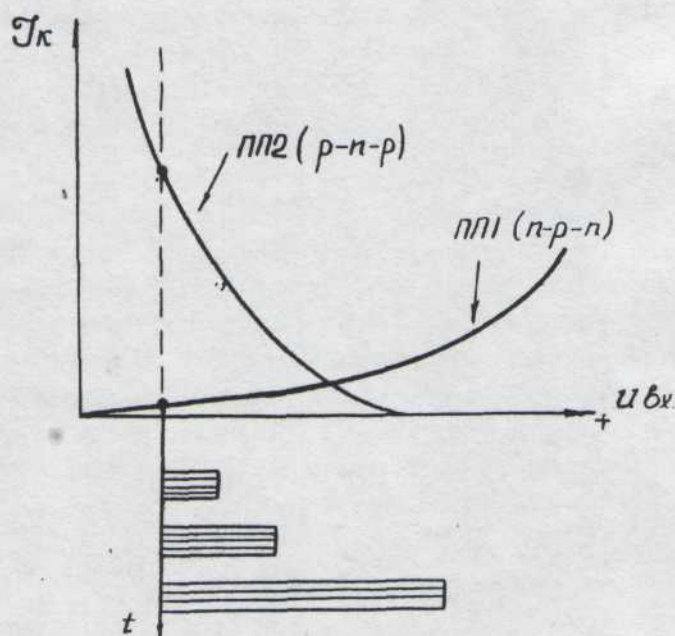


Рис. 3.27. Зависимость токов коллекторов транзисторов ПП1 и ПП2 от амплитуды входных импульсов.

Режим "Земля". Этот режим видеосуслителя отличается от режимов "Метео" и "Снос" следующим:

- видеосуслитель превращается в трехтоновой ВУ с двухступенчатой амплитудной характеристикой (рис. 3.19);

- резко уменьшается напряжение питания транзистора ПП2 (вместо источника +27 в используется источник +10 в), вследствие чего транзистор ПП2 работает как амплитудный ограничитель "сверху";

- к схеме подключается транзистор ПП1: коллектор - к коллектору транзистора ПП3, и их общей нагрузкой служит потенциометр "Яркость" (R_4); эмиттер - к источнику +10 в через резистор R_{19} и потенциометр "Контраст" (R_{5a}). Транзистор ПП1 используется как амплитудный ограничитель "снизу".

Упрощенная выборочная схема для режима "Земля" приведена на рисунке 3.28.

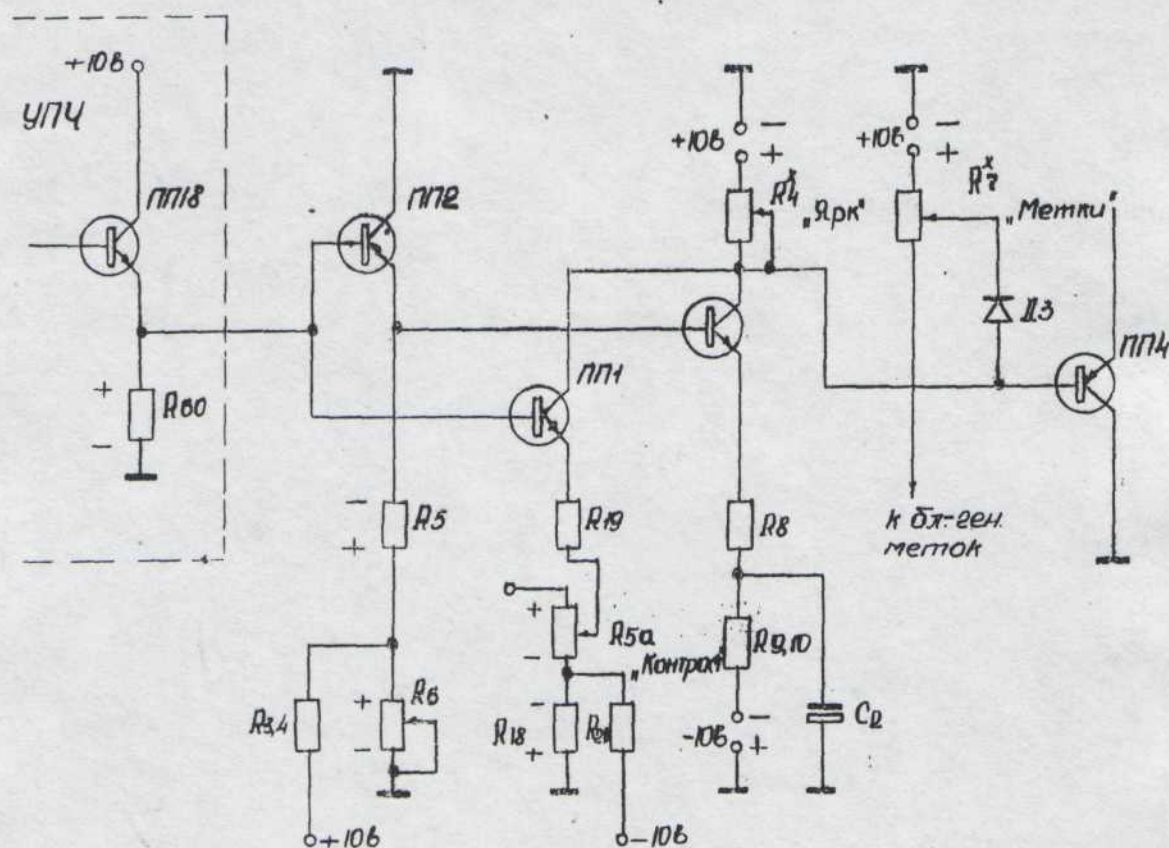


Рис. 3.28. Упрощенная выборочная схема ВУ для режима "Земля".

Исходный режим. Транзисторы ПП2, ПП3 и ПП4 находятся в таком же состоянии, как и в режимах "Метео" и "Снос", но только входная характеристика транзистора ПП2 перемещается влево (вследствие уменьшения напряжения питания) и поэтому ограничение возникает при сравнительно небольших сигналах (рис. 3.25, кривая I).

Уровень ограничения транзистора ПП2 устанавливается резистором R_6 , входящим в состав делителя (R_3, R_4, R_6), с которого положительное напряжение подается на эмиттер транзистора ПП2. Чем оно больше, тем больше входная характеристика смещается вправо и уровень ограничения увеличивается.

Транзистор ПП1 глубоко закрыт положительным напряжением на эмиттере. Оно больше положительного напряжения на базе (U_{R60}) и равняется: $U_{э1} = +U_{R5a} - U_{R18}$ ($U_{R5a} > U_{R18}$).

Напряжение U_{R5a} можно плавно изменять (потенциометр "Контраст"). Чем оно больше, тем транзистор ПП1 закрыт глубже в исходном режиме, и он откроется только при увеличении амплитуды входных импульсов.

Динамика. При небольших амплитудах входных импульсов транзистор ПП1 остается закрытым. Коллекторный ток транзистора ПП2 уменьшается, на резисторе R_5 (нагрузка транзистора ПП2) появляются импульсы положительной полярности, которые усиливаются транзистором ПП3, и на его коллекторе возникают импульсы отрицательной полярности.

При увеличении амплитуды входных импульсов, вследствие ограничения "сверху", амплитуда импульсов на коллекторе транзистора ПП3 не увеличивается до тех пор, пока не откроется транзистор ПП1. Как только транзистор ПП1 откроется, амплитуда импульсов, возникающих на коллекторе транзистора ПП3, будет определяться, во-первых, амплитудой импульсов, поступающих на базу от усилителя "Фон" (ПП2), и, во-вторых, током коллектора усилителя "Выделение" (ПП1), проходящим через резистор R_4 . Таким образом, в коллекторной цепи транзистора ПП3 происходит сложение импульсов усилителей "Фон" и "Выделение".

При перемещении движка потенциометра R_4 изменяются в одинаковой степени сигналы усилителей "Фон" и "Выделение", а соотношение между ними сохраняется, следовательно, положение движка потенциометра "Яркость" на контрастность изображения не влияет.

Если движок потенциометра "Контраст" (R_{5a}) переместить вверх по схеме (рис. 3.28), то положительное напряжение на эмиттере увеличится, уровень ограничения "снизу" изменится и транзистор ПП1 будет открываться импульсами с большей амплитудой; иначе говоря, верхняя часть амплитудной характеристики переместится вправо (рис. 3.19), и на экране будут видны только крупные и хорошо отражающие ориентиры.

Таким образом, с помощью потенциометра "Контраст" можно управлять амплитудной характеристикой ВУ, подавлять средние сигналы и выделять сильные (1) или на фоне слабых сигналов выделять средние (2).

Ввод масштабных меток. Во всех режимах работы масштабные метки вводятся в коллекторную цепь смесителя (ПП3). Выборочная схема ввода меток приведена на рисунке 3.29.

Трансформатор Тр — трансформатор блокинг-генератора, находящегося в синхронизаторе (микромодуль ЗИ). Левая обмотка — выходная. К ней с обеих сторон подводится напряжение +10 в, и через нее в исходном режиме ток не проходит.

При возникновении импульса с полярностью, показанной на схеме, появляется ток, часть которого проходит по цепи: от обмотки трансформатора → источник +IC в → корпус → CI → R_4 → ДЗ → R_{22} → часть R_7 → контакты реле Р4-1 → Д7 → обмотка трансформатора.

Этот ток создает на резисторе R_4 импульс отрицательной полярности, который смешивается с импульсами усилителей "Фон" и "Выделение" и вместе с ними поступает на базу транзистора ПП4.

Потенциометр R_7 "Метки" используется для вызова на экран масштабных меток и для выбора их яркости. Важно, что при пользовании потенциометром "Яркость" (R_4) пропорционально изменяются амплитуды импульсов меток, усилителей "Фона" и "Выделения", а соотношение между ними остается неизменным.

Диод ДЗ исключает возможность попадания напряжения +10 в на коллектор транзистора ПП3 помимо резистора R_4 . Такую же роль играет и диод Д7, добавленный при доводке РЛС.

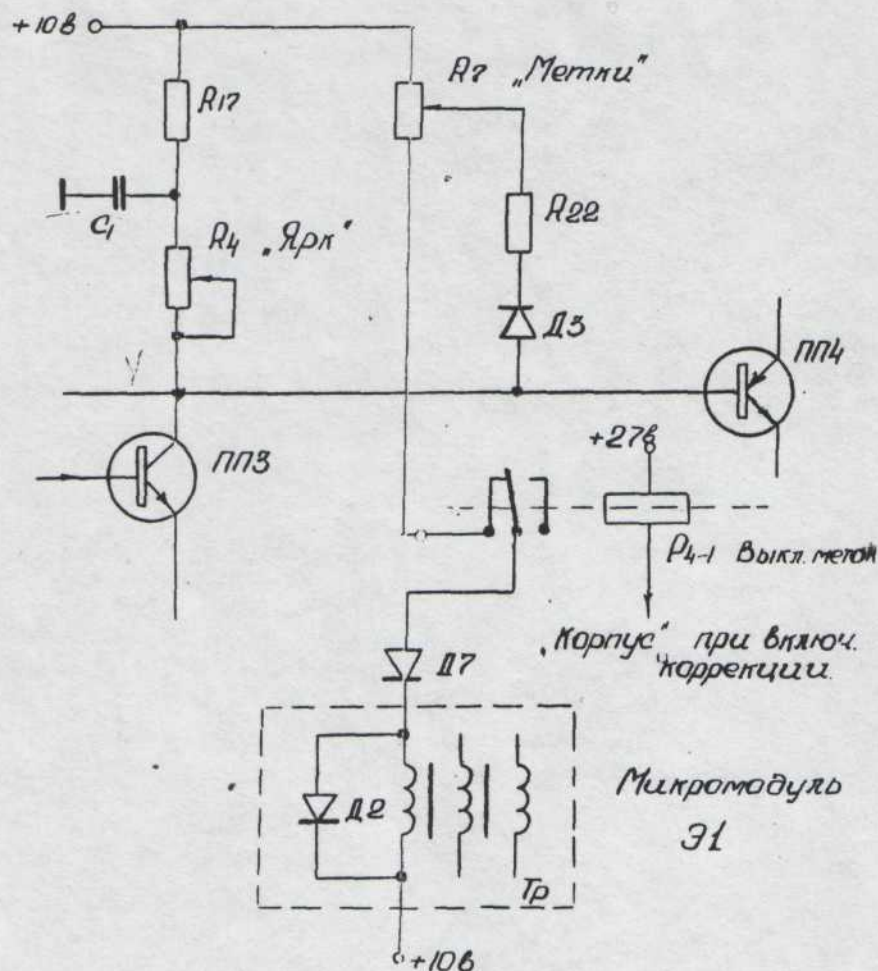


Рис. 3.29. Выборочная схема ввода масштабных меток.

Реле Р4-1 используется только в тех РЛС, в комплект которых входит блок коррекции ГР28.

Оконечный видеоусилитель. На рисунке 3.30 приведена схема оконечного видеоусилителя. Он собран на транзисторах ПП4 (МП16Б, $p-n-p$) и ПП5 (П309, $n-p-n$), коллекторные цепи которых соединены последовательно.

Необходимость использования двух транзисторов вызвана тем, что оконечный ВУ имеет двойное управление: на базу транзистора ПП4 подаются видеоимпульсы, а на базу транзистора ПП5 — импульсы подсвета. В отличие от схем других РЛС, где обычно импульсы подсвета воздействуют непосредственно на ЭЛТ, в анализируемой схеме импульсы подсвета управляют оконечным ВУ. Во время прямого хода электронного луча оконечный ВУ открывается и видеоимпульсы отрицательной полярности с его выхода подаются на катод ЭЛТ.

Импульсы подсвета возникают в схеме синхронизатора и через ЭП (ПП6 в схеме синхронизатора) подаются в панель ВУ на вход усилителя, собранного на транзисторе ПП6 (2Т312А, $n-p-n$).

Исходный режим. На базу транзистора ПП6 с делителя R_{16}, R_{15} подается положительное напряжение. Транзистор открыт и находится в состоянии насыщения. Напряжение на коллекторе относительно корпуса составляет доли вольта. Ток коллектора транзистора ПП6 возникает под действием двух источников: +10 в (ток проходит через резистор R_{12}) и +81 в (ток проходит через резистор R_{13}).

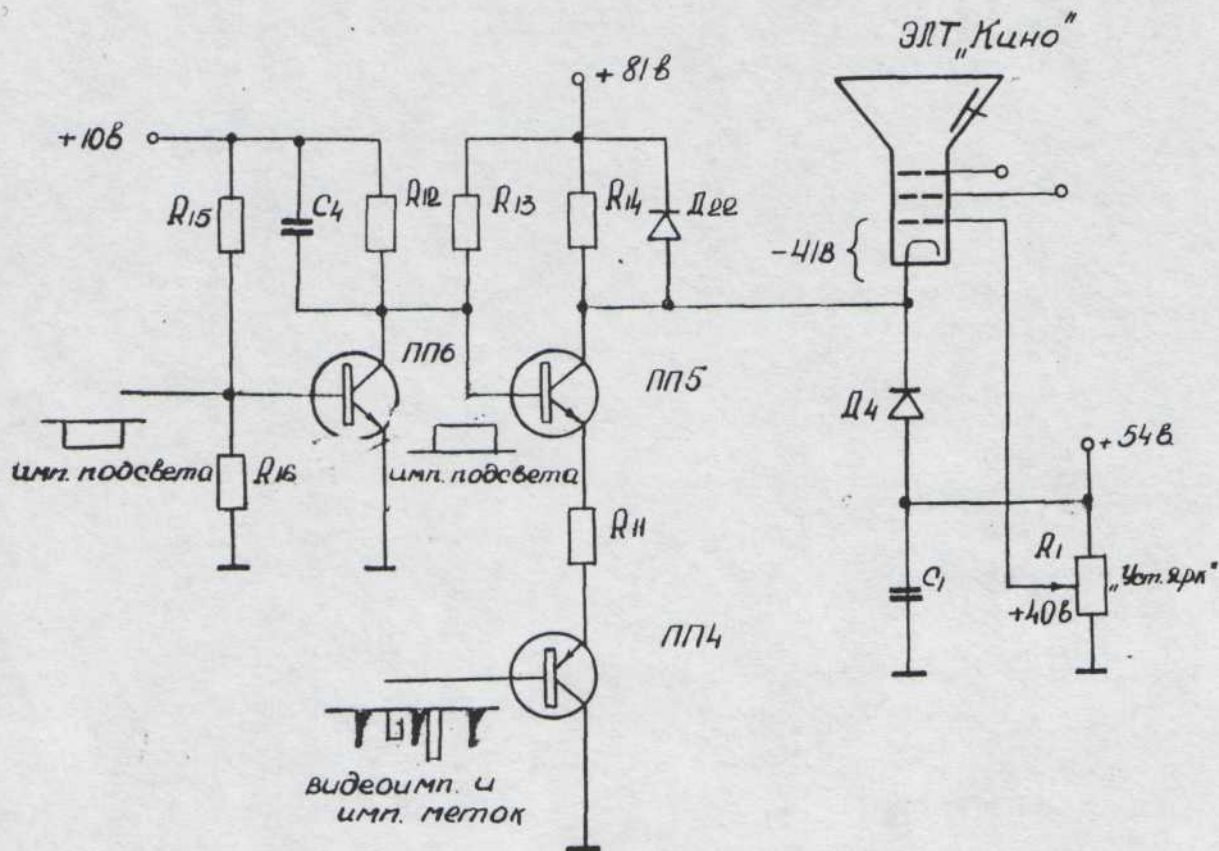


Рис. 3.30. Выборочная схема окончного ВУ.

Транзистор ПП5 находится в состоянии, близком к закрытому, так как напряжение на базе ничтожно мало. База закорочена малым выходным сопротивлением транзистора ПП6. Транзистор ПП5 представляет собой высоковольтный транзистор (максимальное допустимое напряжение на коллекторе +120 в), который открывается при напряжении на базе порядка одного вольта.

Транзистор ПП4 также закрыт. Во-первых, он закрыт потому, что транзистор ПП5 закрыт (общая цепь коллекторов). Во-вторых, он может быть закрыт по цепи базы с помощью потенциометра "Яркость" (R_1).

Динамика. На базу транзистора ПП6 подается импульс подсвета отрицательной полярности, закрывающий его. При этом напряжение на базе транзистора ПП5 резко увеличивается и транзисторы ПП5 и ПП4 открываются. Под действием видеоимпульсов, поступающих на базу транзистора ПП4, в общей коллекторной цепи появляется импульсный ток, который проходит: от стабилизатора +81 в $\rightarrow R_{14} \rightarrow$ переход коллектор-эмиттер (ПП5) $\rightarrow R_{11} \rightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП4) $\rightarrow$ корпус ("минус" стабилизатора +81 в).

Этот ток создает на резисторе R_{11} импульсы отрицательной полярности, которые открывают ЭЛТ.

Защита ЭЛТ от перегрузки (по яркости) осуществляется с помощью диодов Д22 и Д4.

Диод Д22 подключен параллельно резистору нагрузки R_{14} . Когда импульсное напряжение на резисторе R_{14} превышает обратное напряжение диода Д22, последний открывается, шунтирует нагрузку, вследствие чего амплитуда импульса уменьшается. Роль диода Д4 рассматривается с следующим параграфе.

Используется трубка с полукруглым экраном типа "Кино", специально разработанная для РЛС "Гроза". Радиус экрана - 6,5 см. Трубка дает повышенную яркость изображения.

Исходный режим. Трубка глубоко закрыта положительным напряжением на катоде, которое поступает от стабилизатора +8I в через резистор нагрузки (R_{11}) оконечного ВУ.

На модулятор трубки подается положительное напряжение порядка 40 в с потенциометра "Установка яркости" (R_1). Таким образом, на модуляторе относительно катода существует отрицательное напряжение порядка 4I в, а трубка открывается при отрицательном напряжении на модуляторе 39-40 в.

На первый анод, используемый для осуществления электростатической фокусировки, подается напряжение с потенциометра "Установка фокуса" (R_5). На второй анод подается через резистор R_6 с делителя (R_4, R_5, R_7) напряжение +300 в. Делитель запитан напряжением +450 в от специального выпрямителя.

На аквадаг трубки подается напряжение 18 кв, которое возникает в результате выпрямления с многократным умножением напряжения ~ 40 в 3000 гц, поступающего из блока ГР2Р.

Динамика. Импульсы отрицательной полярности, поступающие с выхода ВУ, уменьшают положительное напряжение на катоде, открывают ЭЛТ и модулируют электронный поток.

Никаких органов управления ЭЛТ не имеет - все регулировки (яркость, фокусировка и т.д.) выполняются в лаборатории при проверке изделия.

Перегрузка трубки по яркости исключается благодаря применению амплитудного ограничителя.

Амплитудный ограничитель. Диод Д4 (Д220Б), используемый как амплитудный ограничитель, в исходном режиме закрыт. На катод подается напряжение +8I в, а на анод +54 в. Таким образом, на аноде диода относительно катода существует отрицательное напряжение 27 в.

Во время импульса напряжение на коллекторе транзистора ПП5, а следовательно, и на катоде диода Д4 резко уменьшается, и если оно становится меньше 54 в, то диод Д4 откроется и напряжение от стабилизатора (54 в) через диод попадет на коллектор транзистора ПП5. Таким образом, при любой амплитуде входных импульсов напряжение на коллекторе не может стать меньше 54 в. Это значит, что максимальная амплитуда выходных импульсов не может быть больше 27 в.

Питание блока ГР4В. В блоке индикатора (ГР4В) имеются свои источники питания:

- выпрямитель +450 в, который используется только для питания первого и второго анодов ЭЛТ;

- выпрямитель -10 в и выпрямитель +40 в (без стабилизаторов), используемые для питания канала развертки;

- высоковольтный выпрямитель +18 кв, используемый для питания аквадага ЭЛТ.

Выпрямители +450 в, -10 в, +40 в (рис. 3.31) питаются от одного силового трансформатора ТрI, на первичную обмотку которого подается напряжение 115 в 400 гц.

Высоковольтный выпрямитель +18 кв. Схема высоковольтного выпрямителя приведена на рисунке 3.32. Исходным напряжением для него является напряжение 40 в 3000 гц, снимаемое с коллекторов транзисторов ПП1, ПП2 в схеме ППН (узел У1, блок ГР2Р, рис. 2.18).

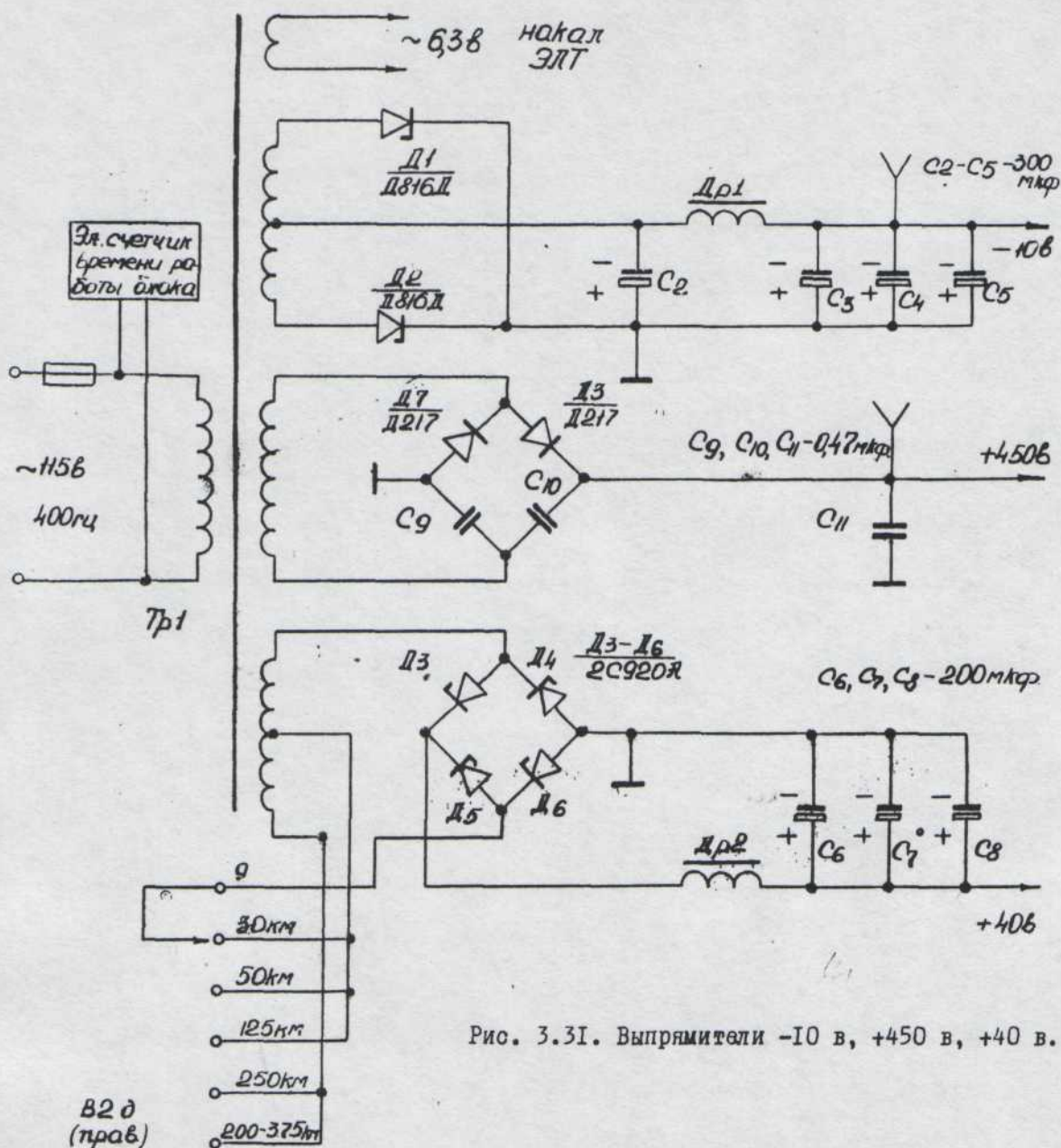


Рис. 3.31. Выпрямители -10 в, +450 в, +40 в.

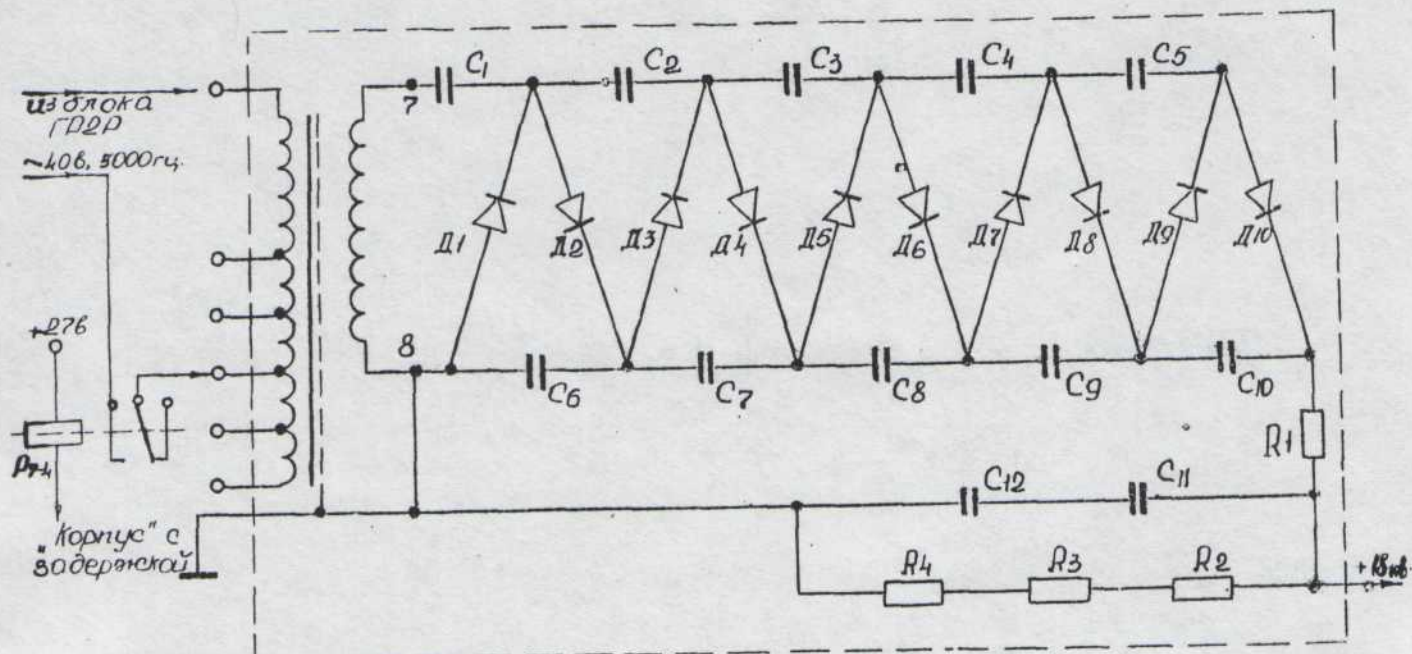
В выпрямителе используются высоковольтные селеновые столбики (Д1 - Д10) типа 5ГЕ200-ф и высоковольтные конденсаторы (С1 - С10) типа КИ5-5-Н20 по 2200 пф.

Первичная обмотка трансформатора секционирована, что позволяет выбрать такое выходное напряжение выпрямителя, при котором длина линии развертки будет равна радиусу экрана.

Резистор R_1 и конденсаторы С11, С12 образуют фильтр. Резисторы R_2 , R_3 , R_4 служат постоянной нагрузкой для выпрямителя, исключающей возможность возникновения перенапряжений при закрытой трубке.

На вторичной обмотке трансформатора возникает напряжение с амплитудой порядка $U_m = 1800$ в.

Предположим, что положительное напряжение в какой-то момент времени существует на выводе 8 (корпус). Тогда возникнет заряд конденсатора С1 через столбик Д1. Напряжение на конденсаторе С1 будет равно 1800 в ("плюс"-справа). В следующий полупериод возникнет заряд конденсатора С6 через столбик Д2, причем к конденсатору С6 будет приложено напряжение $2U_m$ (на конденсаторе С1 - U_m и на трансформаторе - U_m).



$D_1 - D_{10}$
БГЕ 200Ф

$C_1 - C_{10} = 220 \text{ пф}$
 $C_{11} = C_{12} = 150 \text{ пф}$
 $R_1 = 2,4 \text{ мом}$
 $R_2 = R_3 = R_4 = 220 \text{ мом}$

Рис. 3.32. Схема высоковольтного выпрямителя (+18 кв.).

В следующий полупериод, кроме конденсатора C_1 , будет также заряжаться конденсатор C_2 через столбик D_3 , причем к его прав. обкладке будет приложено напряжение $+3 U_m$ ($2 U_m$ — с конденсатора C_6 и U_m — с трансформатора), а к левой обкладке — встречное напряжение $+ U_m$ с конденсатора C_1 . Таким образом, конденсатор зарядится до напряжения $2 U_m$, и каждый следующий конденсатор также будет заряжаться до напряжения, равного $2 U_m$. На пяти последовательно соединенных конденсаторах напряжение равняется $10 U_m$, следовательно, на выходе выпрямителя будет существовать напряжение, равное напряжению на вторичной обмотке трансформатора, умноженному на десять.

Высоковольтный выпрямитель расположен в блоке ГР4В. Он представляет собой моноблок.

Стабилизатор напряжения +8I в. Для питания оконечного видеосушителя и модулятора ЭЛТ используется стабилизатор, с которого снимаются два напряжения: +54 в и +8I в.

Первичное напряжение на стабилизатор подается от второго узла питания из блока ГР2Р (рис. 2.19) от выпрямителя +120 в.

Стабилизатор собран по обычной схеме. В нем используются девять стабилитронов ($D_1 - D_9$) типа Д818Г, соединенных последовательно. Напряжение стабилизации стабилитрона Д818Г равно 9 в.

Ячейка R_3, C_2 образует фильтр на входе стабилизатора. Резистор R_2 является балластным. При изменении входного напряжения падение напряжения на нем изменяется, а на стабилитронах остается неизменным.

Стабилизированное напряжение +8I в подается на оконечный ВУ и через резистор нагрузки (R_{14}) попадает на катод ЭЛТ.

Стабилизированное напряжение +54 в подается на потенциометр "Уст. яркости" (R_1), и часть напряжения через него попадает на модулятор ЭЛТ. Кроме того, напряжение +54 в подается

на анод диода Д4 - амплитудного ограничителя.

Потенциометр R_2 заблокирован конденсатором С1.

Стабилизатор напряжения расположен в блоке ГР4В. Схема его приведена на рисунке 3.23.

Глава 4. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ (АПЧ)

§ 1. Назначение и функциональная схема

Система АПЧ предназначена для обеспечения постоянства промежуточной частоты. Частота магнетрона с течением времени, по мере нагрева его, изменяется. Частота ЛОВ с течением времени также изменяется. Пределы изменения указанных частот настолько значительны, что фактическая промежуточная частота уходит за пределы полосы пропускания УПЧ и прием без системы АПЧ оказывается невозможным.

Система АПЧ "следит" за величиной промежуточной частоты и при отклонении ее от номинала создает такое напряжение для замедляющей системы ЛОВ, при котором частота колебаний ЛОВ, при взаимодействии с частотой колебаний магнетрона, обеспечивает получение промежуточной частоты, близкой к номинальной.

Промежуточная частота равняется: $f_{пр} = f_{лов} - f_{магн} = 30$ мГц.

Функциональная схема системы АПЧ приведена на рисунке 4.2.

Часть энергии магнетрона во время импульса через отверстие связи (Э1) и плавный аттенюатор (Э6) попадает в камеру балансного смесителя АПЧ. Общее ослабление, создаваемое ими, составляет примерно 60 дБ. Одновременно к балансному смесителю АПЧ через щелевой мост (Э3) и плавный аттенюатор (Э4) поступает энергия от ЛОВ. Балансный смеситель выделяет напряжение промежуточной частоты в виде радиоимпульсов, длительность которых равна длительности импульса магнетрона.

Эти импульсы промежуточной частоты подаются через предварительный усилитель (ПП1) на дискриминатор (Д1, Д2), характеристика которого приведена на рисунке 4.1. Частота пересечения равняется номинальной промежуточной частоте (30 мГц), поэтому, если в смесителе возникает промежуточная частота, равная номинальной, то на выходе дискриминатора импульсы отсутствуют. Если фактическая промежуточная частота больше номинальной, дискриминатор выдает видеоимпульсы положительной полярности, если меньше - видеоимпульсы отрицательной полярности. Видеопульсы с выхода дискриминатора через ЭП (ПП2) подаются на общий усилитель (ПП3), который усиливает как импульсы положительной, так и отрицательной полярности. В этом каскаде предусмотрена регулировка усиления.

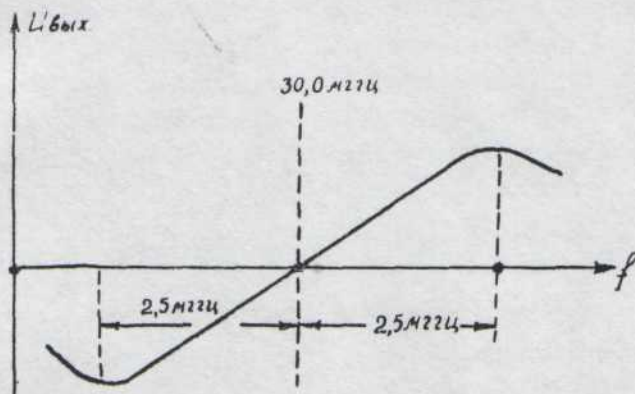


Рис. 4.1. Характеристика дискриминатора.

Затем импульсы поступают на два униполярных усилителя, один из которых (ПП4, ПП6) усиливает импульсы только отрицательной полярности, а другой (ПП5, ПП7) - только положительной полярности.

Импульсы с выхода униполярных усилителей подаются на пик-детектор, преобразующий

импульсное напряжение в постоянное, полярность которого противоположна полярности импульсов.

Это напряжение подается на сетку нувистора (Л1), используемого в качестве катодного повторителя, которым заканчивается линейка АПЧ. На его нагрузке возникает постоянное напряжение, пропорциональное отклонению фактической промежуточной частоты от номинальной.

Напряжение с нагрузки нувистора подается на регулируемую схему, состоящую из стабилизатора напряжения (ПП5, ПП4, ПП3), преобразователя постоянного напряжения ППН (ПП6, ПП7) и выпрямителя (Д17 - Д20).

Регулирующая схема предназначена для преобразования суммы двух постоянных напряжений, одно из которых задается потенциометром "Частота" (блок ГР4В), а другое поступает с выходной линейки АПЧ, в постоянное напряжение, управляющее частотой ЛОВ.

Указанные два напряжения, поступающие на вход регулирующей схемы, определяют уровень стабилизации стабилизатора напряжения.

Стабилизированное напряжение используется для питания транзисторов ППН и определяет амплитуду колебаний ППН. С выхода ППН напряжение прямоугольной формы (меандр) подается на выпрямитель, с выхода которого постоянное напряжение порядка 320-400 в подается на замедляющую систему ЛОВ и определяет частоту колебаний ЛОВ.

§ 2. Принципиальная схема системы АПЧ

Принципиальная схема системы АПЧ состоит из трех частей:

- первая часть, содержащая СВЧ-элементы (балансный смеситель, ЛОВ, аттенюаторы и т.д.), находится в высокочастотной головке (рис. 3.1);
- вторая часть, содержащая усилители, дискриминатор, пик-детектор и т.д., смонтирована на отдельной панели - панели АПЧ;
- третья часть, представляющая собой регулируемую схему, смонтирована в узле питания У1.

Балансный смеситель системы АПЧ отличается от балансного смесителя УПЧ только тем, что в нем используются менее чувствительные кристаллы типа Д405А и Д405АП (разнополярная пара), поэтому первая часть схемы, за исключением ЛОВ, в этой главе не рассматривается.

Схема панели АПЧ, регулирующая схема, принцип работы и схема питания ЛОВ рассматриваются ниже.

Принципиальная схема панели АПЧ приведена на рисунке 4.3.

§ 3. Анализ схемы панели АПЧ

Вся схема, расположенная на панели АПЧ, предназначена для преобразования импульсов промежуточной частоты, поступающих от балансного смесителя АПЧ, в постоянное напряжение, необходимое для управления регулирующей схемой. Величина и полярность этого напряжения зависят от направления и степени отклонения фактической промежуточной частоты от номинальной.

В схеме используются высокочастотные транзисторы типа 1Т308В и 2Т301Ж и в конечном каскаде - лампа типа 6С52Н-В (нувистор).

Первый каскад (ПП1) представляет собой высокочастотный усилитель, собранный на транзисторе типа 1Т308В (р - n - р) по схеме с общим эмиттером.

Нагрузкой каскада служат контуры дискриминатора $C5, L_1$ и $C6, L_2$. Резистор R_2 играет роль заградительного дросселя для переменной составляющей тока коллектора (схема УВЧ с параллельным питанием). Резистор R_4 в цепи эмиттера служит для температурной стабилизации

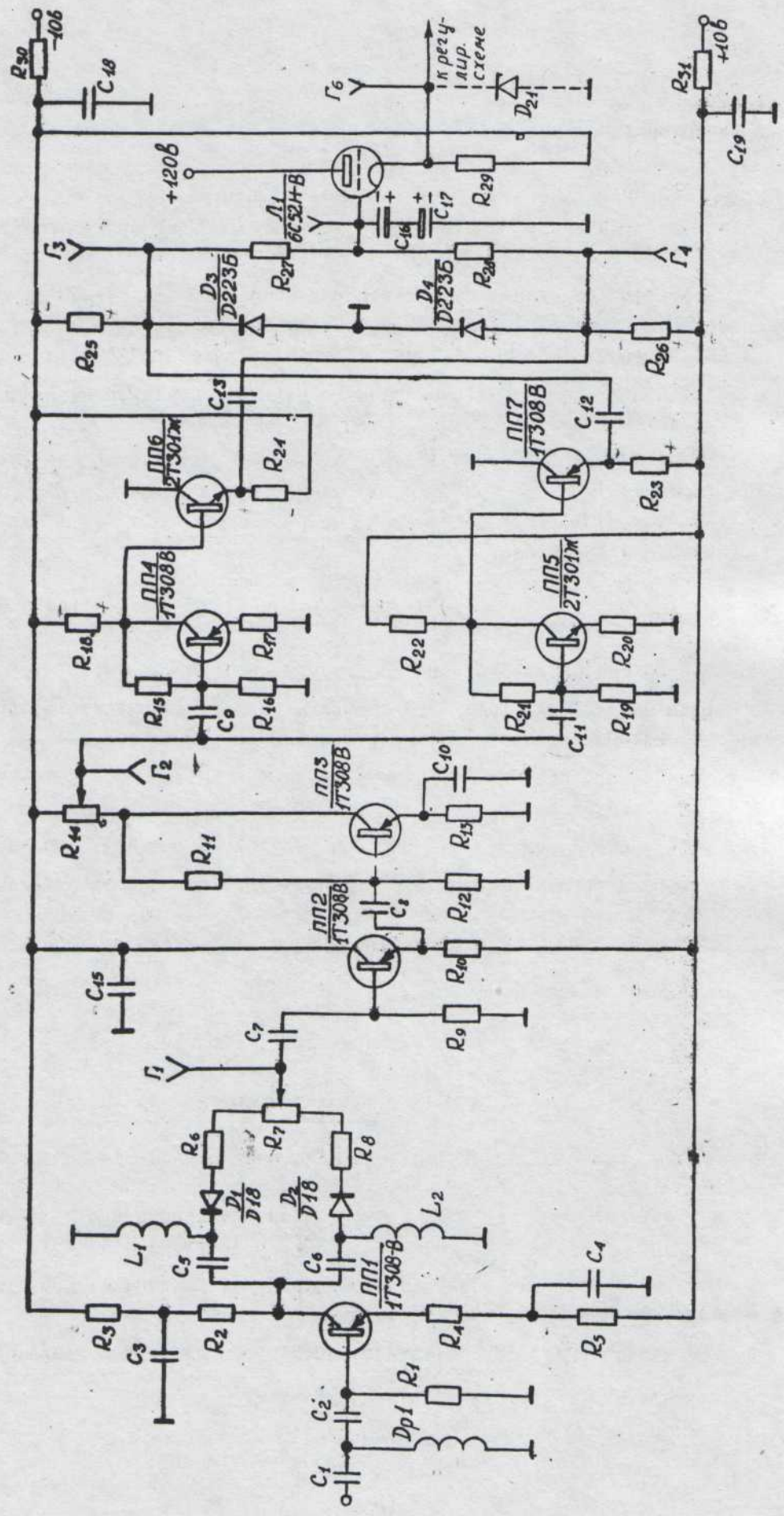


Рис. 4.3. Принципиальная схема панели АПЧ.

работы транзистора. С помощью резистора R_1 выбирается величина исходного тока базы.

Ячейки R_5, C_4 и R_3, C_3 представляют собой развязывающие фильтры в цепи эмиттера и коллектора.

Дроссель ДрI является нагрузкой балансного смесителя, и на нем выделяется напряжение промежуточной частоты. Конденсатор C1 — разделительный. Он служит для того, чтобы постоянная составляющая токов кристаллов смесителя не замыкалась через дроссель ДрI. Конденсатор C2 также разделительный. Он служит для того, чтобы дроссель ДрI не шунтировал резистор R_1 для тока базы.

Исходный режим. Ток базы проходит по цепи: источник +10 в — фильтр R_{31}, C_{19} — фильтр R_6, C_4 — R_4 — переход эмиттер-база — резистор R_1 — корпус ("минус" источника +10 в).

Ток коллектора проходит по цепи: источник +10 в — фильтр R_{31}, C_{19} — фильтр R_6, C_4 — R_4 — переход эмиттер-коллектор — R_2 — фильтр R_5, C_3 — фильтр R_{30}, C_{18} — источник -10 в.

Как следует из оказанного, ток базы возникает под действием одного источника (+10 в), а ток коллектора — под действием двух источников (+10 в и -10 в), соединенных последовательно.

Рабочая точка находится на линейной части входной характеристики транзистора.

Динамика. Под действием напряжения промежуточной частоты, создаваемого балансным смесителем на дросселе ДрI, возникает переменная составляющая тока базы, которая проходит по цепи: дроссель ДрI — корпус — C_4 — R_4 — переход эмиттер-база — C2 — дроссель ДрI.

Под действием переменной составляющей тока базы возникает переменная составляющая тока коллектора, которая проходит по цепи:

коллектор ПП1 $\begin{cases} C_5, L_1 \\ C_6, L_2 \end{cases}$ корпус — C_4 — R_4 — эмиттер ПП1.

Переменная составляющая тока коллектора создает на индуктивностях L_1 и L_2 падения напряжения, которые подаются на диоды Д1 и Д2 в схеме дискриминатора.

Дискриминатор предназначается для получения видеосигналов, полярность которых зависит от направления отклонения фактической промежуточной частоты от номинальной, а амплитуда — от степени отклонения.

Последовательные контуры C_5, L_1 и C_6, L_2 симметрично расстроены относительно номинальной промежуточной частоты. Индуктивности L_1 и L_2 равны, емкость конденсатора $C_6 < C_5$, следовательно, контур C_6, L_2 настроен на более высокую частоту, чем контур C_5, L_1 . Так как добротность контуров сравнительно низкая, то для частоты 30 мГц сопротивления контуров равны.

Диоды Д1 и Д2 представляют собой видеодетекторы. Нагрузкой диода Д1 служат резисторы R_6 , часть R_7, R_9 , нагрузкой диода Д2 — R_8 , часть R_7, R_9 . Переменный резистор R_7 служит для установки нуля выходного напряжения дискриминатора при подаче на вход напряжения с частотой 30 мГц.

Если фактическая промежуточная частота ($f_{факт}$) больше номинальной промежуточной частоты ($f_{пр}$), то сопротивление контура C_6, L_2 мало, и ток коллектора (ПП1) будет проходить, в основном, через него, и на L_2 появится напряжение с частотой $f_{факт}$, которое попадет на диод Д2. Ток диода Д2 пройдет по цепи: L_2 — Д2 — R_8 — часть R_7 — C_7 — R_9 — корпус.

Под действием тока диода Д2 на резисторе R_9 появится видеопульс положительной полярности, который попадет на базу эмиттерного повторителя (ЭП), собранного на транзисторе типа IT308B (ПП2).

ЭП служит для того, чтобы малое входное сопротивление усилителя (ПП3) не шунтировало бы нагрузку дискриминатора.

В исходном режиме ток базы транзистора ПП2 проходит по цепи: источник +10 в — фильтр R_{31} , С19 — резистор нагрузки R_{10} — переход эмиттер-база — R_9 — корпус ("минус" источника +10 в).

На базе (ПП2) относительно эмиттера существует небольшое отрицательное напряжение (доли вольта). Ток коллектора создает на резисторе R_{10} падение напряжения с полярностью, показанной на рисунке 4.4.

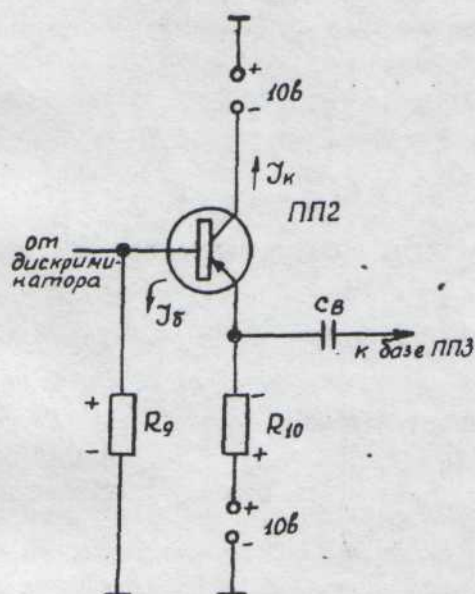


Рис. 4.4. Схема эмиттерного повторителя (ПП2).

Под действием импульса диода Д2 падение напряжения на резисторе R_9 увеличится, следовательно, отрицательное напряжение на базе уменьшится, ток коллектора также уменьшится, уменьшится падение напряжения на резисторе R_{10} , что равносильно возникновению импульса положительной полярности.

Этот импульс через разделительный конденсатор С8 подается на усилитель, собранный на транзисторе ПП3 (IT308B).

Если $f_{факт} < f_{пр}$, то картина будет аналогичной, но полярность импульсов на базе и на выходе ЭП будет отрицательной.

Общий усилитель собран на транзисторе типа IT308B (ПП3) и предназначается для усиления импульсов дискриминатора любой полярности. Питается только от источника -10 в. В схеме предусмотрена регулировка амплитуды выходного импульса, которая осуществляется с помощью резистора R_{14} .

Исходный режим. Транзистор открыт. На базу подается отрицательное напряжение с делителя R_{12} , R_{11} , присоединенного к коллектору. Рабочая точка находится на середине входной характеристики транзистора.

Динамика. Под действием импульсов дискриминатора на резисторе нагрузки R_{14} возникают выходные импульсы, полярность которых, как у всякого резистивного усилителя с общим эмиттером, противоположна полярности входных импульсов.

Коэффициент усиления каскада примерно равен 3.

Выходные импульсы через конденсаторы С19, С11 подаются на униполярные усилители.

Униполярные усилители. Выбранная схема пик-детектора требует разделения импульсов положительной и отрицательной полярности. Для этой цели служат два униполярных усилителя, один из которых (ПП4, ПП6) открывается и усиливает только импульсы отрицательной полярности, а другой (ПП5, ПП7) открывается и усиливает импульсы положительной полярности.

Каждый униполярный усилитель состоит из усилительного каскада и эмиттерного повторителя, в которых используются транзисторы с разной проводимостью. Коэффициент усиления равняется 20.

Поскольку схемы униполярных усилителей аналогичны, ниже рассматривается только усилитель

для импульсов отрицательной полярности.

В усилительном каскаде используется транзистор типа IT306B (ПП4, $p - n - p$), а в схеме ЭП — транзистор типа 2Т301Ж (ПП6, $n - p - n$).

Оба транзистора питаются от источника -10 в.

Исходный режим. Резисторы R_{15} (180 ком) и R_{16} (5,1 ком) образуют делитель напряжения. Резистор R_{16} зашунтирован сопротивлением эмиттер-база (~ 100 ом) и резистором R_{12} (300 ом), поэтому коэффициент деления оказывается очень большим (примерно 400). Отрицательное напряжение на базе мало, следовательно, сопротивление перехода эмиттер-коллектор велико.

Через транзистор ПП4, кроме тока своего коллектора, проходит ток базы транзистора ПП6. Цепь этого тока такова: корпус ("плюс" источника -10 в) $\rightarrow R_{12} \rightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП4) $\rightarrow$ переход база-эмиттер (ПП6) $\rightarrow R_{24} \rightarrow$ источник -10 в.

Как показано выше, транзистор ПП4 почти закрыт, поэтому ток базы транзистора ПП6, а следовательно, и ток коллектора в исходном режиме малы.

Падение напряжения на резисторе нагрузки ЭП (R_{24}) также мало.

Динамика. Под действием импульса отрицательной полярности ток базы транзистора ПП4 резко увеличивается, уменьшается сопротивление перехода эмиттер-коллектор (ПП4), поэтому увеличивается ток базы транзистора ПП6.

Соответственно увеличивается ток коллектора и падение напряжения на резисторе R_{24} , вызванное им.

Таким образом, импульс отрицательной полярности на входе униполярного усилителя вызывает появление на выходе импульса положительной полярности.

Пик-детектор предназначен для преобразования видеоимпульсов, поступающих на его вход, в постоянное напряжение, полярность которого противоположна полярности видеоимпульсов, а величина — амплитуде их.

Пик-детектор состоит из двух симметричных половин, каждая из которых присоединена к выходу одного униполярного усилителя. Общими для схемы пик-детектора являются только конденсаторы C_{16}, C_{17} .

На рисунке 4.5 приведена схема той половины пик-детектора, на которую подаются видеоимпульсы положительной полярности с выхода униполярного усилителя (ПП4, ПП6).

Исходный режим. Конденсаторы C_{16}, C_{17} разряжены. Через резистор R_{26} и диод D_4 проходит ток источника $+10$ в.

Прямое сопротивление диода D_4 мало, поэтому падением напряжения на нем можно пренебречь и считать, что падение напряжения на резисторе R_{26} равно 10 в, тогда напряжение в точке "А" (относительно корпуса) равно нулю.

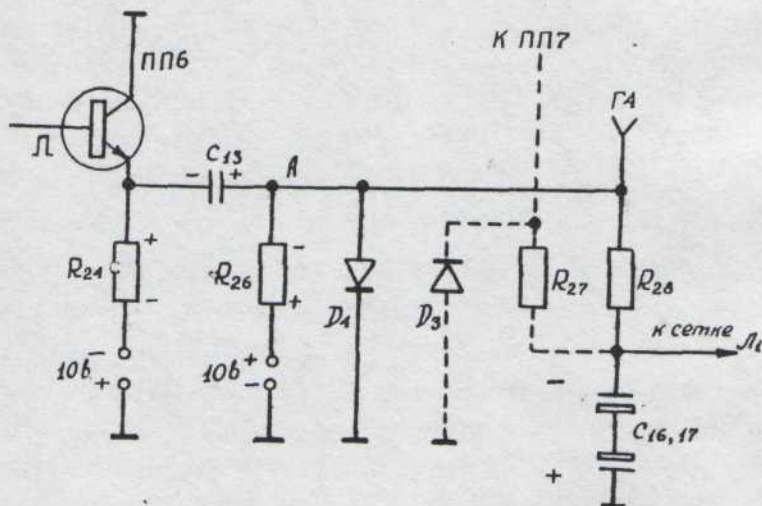


Рис. 4.5. Часть схемы пик-детектора.

Падение напряжения на резисторе R_{24} мало, конденсатор C_{13} заряжен, "плюс" — на правой обкладке. Как видно из рисунка 4.5, $U_{C13} + U_{R24} = 10\text{В}$.

Динамика. Как показано выше, при поступлении на вход униполярного усилителя (ПП4, ПП6) импульса отрицательной полярности падение напряжения на резисторе R_{24} увеличивается, вследствие чего возникает разряд конденсатора C_{13} . Ток разряда проходит по цепи: $C_{13} \rightarrow D_4 \rightarrow \text{корпус} \rightarrow \text{источник } -10\text{В} \rightarrow R_{24} \rightarrow C_{13}$.

Как только входной импульс закончится, падение напряжения на резисторе R_{24} уменьшится до исходного значения и возникнет заряд конденсатора C_{13} по цепи: источник $+10\text{В} \rightarrow R_{26} \rightarrow C_{13} \rightarrow R_{24} \rightarrow \text{источник } -10\text{В}$.

При заряде конденсатора C_{13} падение напряжения на резисторе R_{26} оказывается больше 10В и диод D_4 закрывается. Напряжение в точке А будет равно: $U_A = +10\text{В} - U_{R26}$ ($U_{R26} > 10\text{В}$). Это напряжение подается на фильтр R_{22} , C_{16} , I_7 и с конденсаторов фильтра (C_{16} , I_7) попадает на сетку лампы нувистора. В нашем случае оно будет иметь отрицательную полярность.

Когда существуют импульсы на выходе другого униполярного усилителя, работает вторая половина схемы пик-детектора и на конденсаторах C_{16} , I_7 появляется напряжение положительной полярности.

Конденсаторы C_{16} , I_7 — электролитические. Так как на них может возникать как положительное, так и отрицательное напряжение, что привело бы к нарушению структуры электролита, конденсаторы C_{16} , I_7 включены последовательно "плюс" к "плюсу". Как показывает опыт, срок службы электролитических конденсаторов при таком включении и при разной полярности напряжения на них не меньше, чем при обычном включении с правильной полярностью приложенного напряжения.

Разряжаются конденсаторы C_{16} , I_7 через диод D_3 и резистор R_{27} , которые показаны на рисунке 4.5 пунктиром, так как относятся, в основном, ко второй половине схемы.

Постоянное напряжение с конденсаторов C_{16} , I_7 , полярность и величина которого зависят от величины фактической промежуточной частоты, подается на сетку лампы катодного повторителя.

Катодный повторитель предназначается для исключения влияния регулирующей схемы на работу пик-детектора, является выходным каскадом линейки АПЧ. В схеме используется нувистор типа 6С52Н-В, сведения о котором даны выше (глава 3, § 4). Каскад питается от выпрямителя $+120\text{В}$. Кроме того, цепь катода присоединена к источнику -10В .

Исходный режим. На катоде (относительно корпуса) существует положительное напряжение. Оно складывается из двух напряжений: положительного, которое возникает на резисторе R_{29} за счет анодного тока, и отрицательного напряжения источника -10В (падением напряжения на резисторе R_{30} можно пренебречь).

Так как $U_{R29} > 10\text{В}$, на сетке лампы существует отрицательное напряжение смещения.

Динамика. При работе пик-детектора на конденсаторах C_{16} , I_7 появляется напряжение (или положительное, или отрицательное), которое складывается с напряжением, поступающим из катодной цепи.

Если на конденсаторах C_{16} , I_7 возникает положительное напряжение, то падение напряжения на резисторе R_{29} увеличивается и большее положительное напряжение подается в регулируемую схему. И, наоборот, если на конденсаторах C_{16} , I_7 возникает отрицательное напряжение, то падение напряжения на резисторе R_{29} уменьшается и в регулируемую схему подается меньшее положительное напряжение. Важно, что на регулируемую схему в любом случае подается положительное напряжение той или иной величины.

Катод лампы Л1 заблокирован диодом D_{21} , который защищает вход регулирующей схемы при выходе из строя лампы.

§ 4. Регулирующая схема

Предназначается для формирования постоянного напряжения, поступающего на замедляющую систему ЛОВ.

Величина этого напряжения определяет частоту колебаний ЛОВ и должна зависеть от двух факторов: во-первых, от величины фактической промежуточной частоты (т.е. от величины напряжения, поступающего с выхода панели АПЧ) и, во-вторых, от величины напряжения, задаваемого потенциометром "Частота" (блок ГР4В), предназначенного для осуществления "поиска" той частоты колебаний ЛОВ, которая при взаимодействии с частотой магнетрона создает номинальную промежуточную частоту.

Пределы выходного напряжения регулирующей схемы соответствуют линейной части частотной характеристики ЛОВ (см. следующий параграф) и составляют 320–400 в.

Изменение входного напряжения на 1 в вызывает изменение выходного напряжения регулирующей схемы примерно на 25 в.

В регулирующую схему (рис. 4.7) входят:

- стабилизатор напряжения +27 в, через который питаются транзисторы ППН;
- преобразователь постоянного напряжения ППН, создающий колебания с частотой 2500 гц;
- выпрямитель с фильтром, с выхода которого напряжение подается на замедляющую систему ЛОВ.

Аналогичная схема ППН разобрана выше (узел питания У1 блока ГР2Р), поэтому в этой главе не рассматривается.

Выпрямитель с фильтром собран по типовой схеме и особенностей не имеет. Таким образом, разбору подлежит только схема стабилизатора напряжения.

Стабилизатор напряжения.

Транзисторы ППН питаются от бортовой сети самолета напряжением +27 в, которое при включении различных потребителей может изменяться. Кроме того, оно зависит от температуры, длительности полета и т.д.

Стабилизатор напряжения предназначен для обеспечения постоянства заданного уровня выходного напряжения, поступающего на эмиттеры транзисторов и определяющего амплитуду колебаний ППН.

Выборочная схема стабилизатора напряжения приведена на рисунке 4.6.

В нее входят: усилитель постоянного тока (ПП5) и "составной транзистор", образованный транзисторами ПП3 и ПП4,

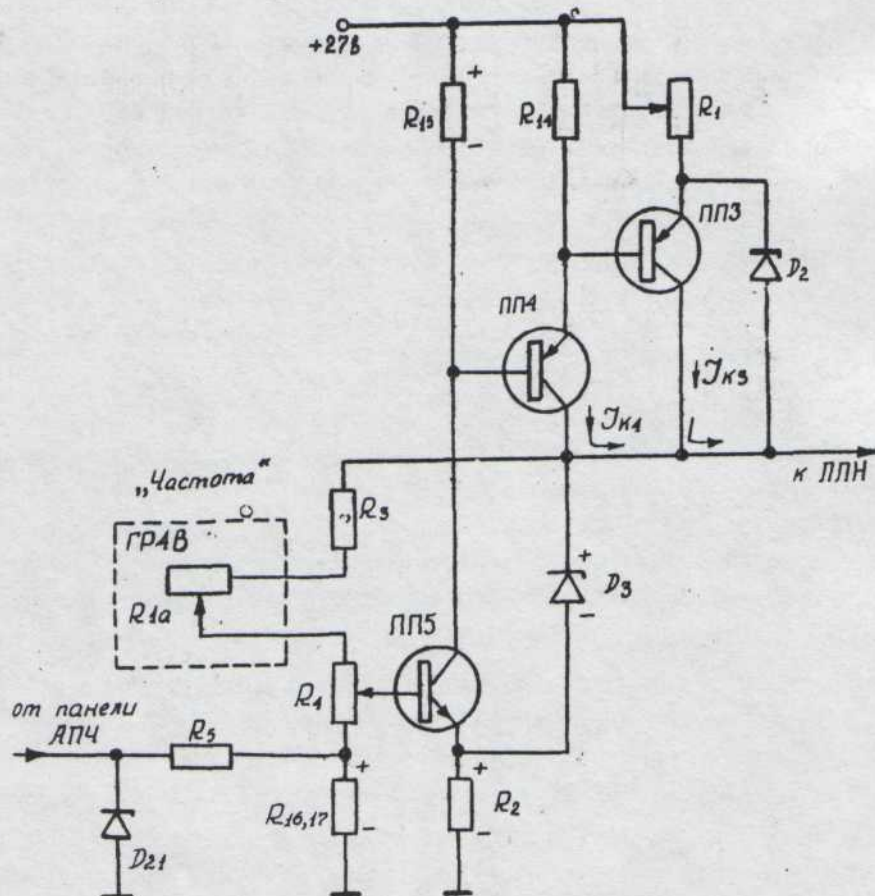


Рис. 4.6. Схема стабилизатора напряжения +27 в.

который используется как регулируемое сопротивление.

Составной транзистор включен последовательно в цепь нагрузки, и ток коллектора является током нагрузки.

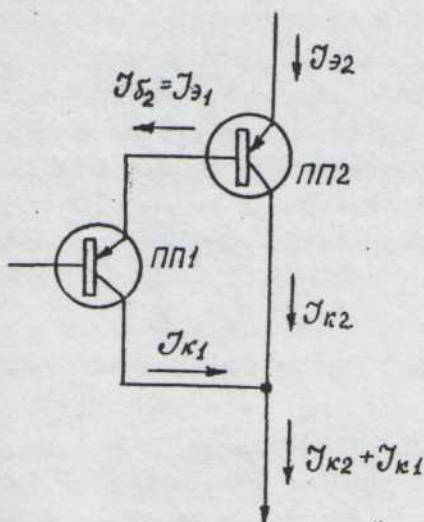


Рис. 4.8. Составной транзистор.

Составные транзисторы (рис. 4.8) находят применение в тех случаях, когда нельзя подобрать транзистор с необходимым коэффициентом усиления β . В составном транзисторе используются транзисторы разной мощности. Они выбираются таким образом, чтобы ток эмиттера предшествующего транзистора равнялся току базы следующего. Коэффициент усиления составного транзистора примерно равен произведению коэффициентов усиления транзисторов, образующих его ($\beta \cong \beta_1 \cdot \beta_2$).

Чтобы получить необходимое соответствие токов, используются дополнительные резисторы (например, резистор R_{14} на рис. 4.6).

На базу транзистора ПП5 (2Т301Г, $n-p-n$) подается положительное напряжение с резисторов $R_{16,17}$ и части резистора R_4 , который является установочным.

Резисторы $R_3, R_{1a}, R_4, R_{16,17}$ образуют делитель, подключенный параллельно нагрузке, и на него подается стабилизированное напряжение.

Переменный резистор R_{1a} расположен в блоке ГР4В, рукоятка его выведена на переднюю панель блока и имеет надпись "Частота". При повороте этой рукоятки изменяется положительное напряжение на базе транзистора ПП5, что приводит к изменению выходного напряжения стабилизатора. Происходит это следующим образом. Увеличение положительного напряжения на базе вызывает увеличение базового, а следовательно, и коллекторного тока транзистора ПП5. Увеличение коллекторного тока приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R_{15} , вследствие чего увеличивается отрицательное напряжение на базе транзистора ПП4. Увеличивается ток эмиттера транзистора ПП4 (1Т403Ж, $p-n-p$), следовательно, увеличивается ток базы транзистора ПП3 (П210А, $p-n-p$), вследствие чего уменьшается сопротивление перехода эмиттер-коллектор этого транзистора, что приводит к увеличению выходного напряжения стабилизатора.

На резисторы $R_{16,17}$ через резистор R_5 подается положительное напряжение с выхода панели АПЧ.

Если оно увеличивается, то картина получается аналогичной описанной выше. Если оно уменьшается, то все происходит в обратном порядке и выходное напряжение стабилизатора уменьшается.

При изменении напряжения бортовой сети стабилизация выходного напряжения происходит следующим образом.

Предположим, что напряжение бортовой сети уменьшилось до 25 в, следовательно, уменьшилось и выходное напряжение стабилизатора.

При этом уменьшится положительное напряжение на базе транзистора ПП5. Но это уменьшение будет незначительным, так как общее изменение напряжения распределится пропорционально сопротивлениям резисторов $R_3, R_{1a}, R_4, R_{16,17}$.

А на резисторе R_2 , благодаря опорному стабилитрону Д3 (Д818Г), на котором напряжение остается неизменным, произойдет незначительное уменьшение напряжения. Это приведет к увеличению положительного напряжения на базе транзистора ПП5, что, как показано выше, вызовет увеличение выходного напряжения стабилизатора, т.е. вернет его к заданному уровню.

Стабилитрон Д2 (Д818Ж) предохраняет транзистор ПП3 от пробоя в случае превышения падения напряжения на нем допустимого предела.

Напряжение +27 в подается на эмиттер транзистора ППЗ через часть резистора R_1 .

§ 5. Краткие сведения о лампах обратной волны (ЛОВ)

ЛОВ относятся к классу широкодиапазонных генераторов СВЧ-колебаний с электронной перестройкой частоты, в которых генерация возникает в результате взаимодействия электронного потока с замедленной электромагнитной волной, движущейся навстречу электронному потоку.

Разработанные в 1952 году лампы обратной волны в настоящее время находят применение в качестве маломощных генераторов дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн.

В частности, они применяются в качестве гетеродинов радиолокационных приемников различного назначения.

В ЛОВ, как и в большинстве других СВЧ-генераторов, используется модуляция электронного потока по плотности, т.е. используется не равномерный электронный поток, а поток, содержащий периодически повторяющиеся сгустки.

Модуляция возникает в результате воздействия на электронный поток электромагнитного поля. Для получения достаточно глубокой модуляции необходимо, чтобы это воздействие осуществлялось длительное время, что может быть осуществлено только при одинаковой скорости движения электронного потока и электромагнитной волны вдоль оси ламп.^{х/}

Известно, что электромагнитная волна распространяется со скоростью, близкой к скорости света (C). А электронный поток движется гораздо медленнее, и скорость его (v_0) зависит от напряженности электрического поля, вызывающего его движение.

Для уменьшения скорости движения электромагнитной волны применяются замедляющие системы, из которых наиболее широко используется система под названием "встречные штыри".

Электромагнитная волна, двигаясь со скоростью C , обтекает штыри, поэтому скорость перемещения ее по оси лампы (v_ϕ) оказывается значительно меньше C .

Промышленность выпускает два типа ЛОВ: типа "О", в которой электронный поток движется прямолинейно, и типа "М", в которой используется кольцевой электронный поток.

В самолетной аппаратуре используются ЛОВ типа "О", габариты которых незначительно превышают габариты клистронов.

На рисунке 4.9. приведено схематическое изображение наиболее распространенной конструкции лампы типа "О".

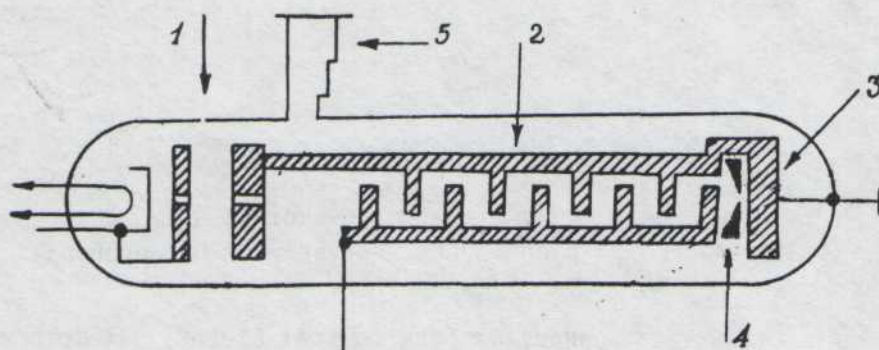


Рис. 4.9. Схематическое изображение конструкции ЛОВ типа "О".

х/ Для самовозбуждения ЛОВ должно быть выполнено так называемое "условие взаимодействия", которое заключается в том, что скорость движения электронного потока (v_0) должна быть несколько выше скорости движения электромагнитной волны вдоль оси лампы, т.е. фазовой скорости (v_ϕ): $v_0 > v_\phi$.

Основными элементами лампы являются: электронная "пушка" (1), замедляющая система (2), коллектор (3), поглотитель (4) и волноводный вывод СВЧ-энергии (5).

Поглотитель предназначается для поглощения энергии неиспользуемой прямой волны.

Вывод СВЧ-энергии расположен в начале замедляющей системы, так как используемая в ЛОВ обратная электромагнитная волна распространяется навстречу электронному лучу.

На рисунке 4.10 показан отрезок замедляющей системы в увеличенном масштабе, на котором указаны основные размеры, определяющие величину замедления (шаг системы - $2p$, высота штырей - h).

Как видно из рисунка, электромагнитная волна, перемещаясь по изгибам замедляющей системы из точки "Б" в точку "А", проходит расстояние, равное $2p + 2h$.

За это же время электромагнитная волна по оси Z пройдет расстояние, равное $2p$.

Отношение указанных расстояний $\left(\frac{2p+2h}{2p} = \frac{p+h}{p} = 1 + \frac{h}{p}\right)$ показывает, во сколько раз происходит замедление волны в выбранной замедляющей системе.

Принцип работы ЛОВ заключается в следующем: электронный луч, созданный "пушкой", движется от катода к коллектору вдоль замедляющей системы (параллельно ей) и возбуждает в последней электромагнитное поле, которое содержит бесчисленное множество прямых и обратных волн (так называемых пространственных гармоник), имеющих разные скорости. На той волне, для которой выполняется условие взаимодействия волны с потоком, возникают незатухающие колебания.

Энергия прямой волны, двигающейся к коллектору, поглощается специальным поглотителем.

Энергия обратной волны, двигающейся к катоду, через согласующее устройство и волноводный вывод передается по соединительному волноводу в нагрузку.

Из сказанного можно сделать важный вывод. Если изменить скорость электронного потока, то условие взаимодействия будет выполняться для другой волны, следовательно, и незатухающие колебания возникнут на другой волне.

Скорость движения электронного луча зависит от величины управляющего напряжения. Изменяя величину управляющего напряжения, можно управлять частотой колебаний ЛОВ в широких пределах.

Современные ЛОВ имеют хорошие диапазонные свойства $\left(\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = 2-3\right)$. Зависимость частоты ЛОВ от управляющего напряжения приведена на рисунке 4.11.

По сравнению с отражательным клистроном ЛОВ имеет следующие отличия:

- существует только одна зона генерации, что исключает ложные настройки;
- обладает хорошими диапазонными свойствами;
- рабочий участок частотной характеристики почти линеен;
- крутизна электронной настройки мала, что облегчает работу системы АПЧ;
- КПД мал и не превышает 1 - 3%;
- габариты ЛОВ больше габаритов отражательного клистрона.

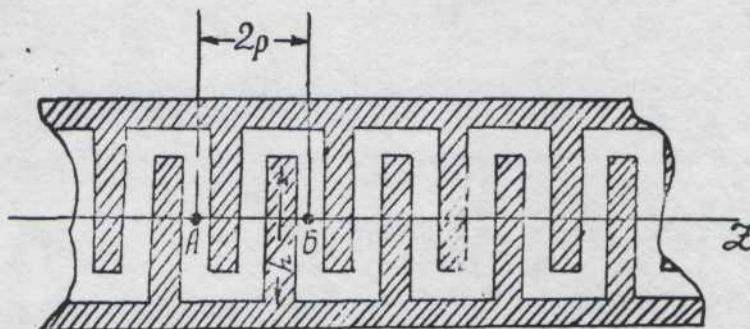


Рис. 4.10. Отрезок замедляющей системы типа "встречные штыри".

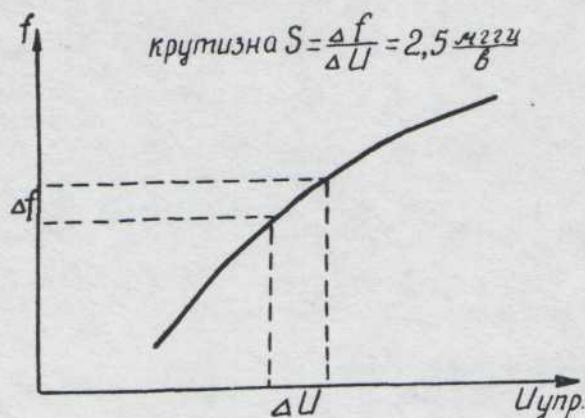


Рис. 4.11. Зависимость частоты колебаний ЛОВ от управляющего напряжения.

В РЛС "Гроза" используется ЛОВ типа ОВС-5, имеющая следующие параметры:

- длины волн	3,1+3,3 см;
- крутизна электронной настройки	2,5 $\frac{\text{МГц}}{\text{В}}$;
- выходная мощность	30 мВт;
- ток управляющего электрода	< 25 ма;
- диапазон управляющих напряжений	250÷450 в.

§ 6. Схема питания ЛОВ

Функциональная схема питания ЛОВ приведена на рисунке 4.12.

Для питания ЛОВ, кроме напряжения накала ($\sim 6,3$ в), используются два напряжения:

- напряжение -160 в с заземленным "плюсом", которое подается на катод ЛОВ. Коллектор ЛОВ заземлен;

- напряжение +400 в с заземленным "минусом", которое подается на замедляющую систему.

Верхняя гребенка замедляющей системы соединена с коллектором, и на ней относительно катода существует положительное напряжение +160 в, которое сообщает электронному потоку необходимое ускорение.

На нижнюю гребенку подается положительное напряжение (320÷400 в), следовательно, на нижней гребенке относительно катода существует напряжение 480÷560 в.

Фокусировка электронного луча осуществляется системой электростатических линз. Каждая линза образуется парой соседних, противоположно расположенных штырей, на которых существуют положительные напряжения разной величины. Электрическое поле, возникающее вблизи этих штырей, фокусирует электронный луч.

Такой способ фокусировки называется периодической электростатической фокусировкой.

Напряжение -160 в появляется только при срабатывании реле Р5 (в схеме включения), на которое подается +27 в во всех режимах, кроме режима "Готовность".

Величина напряжения -160 в сильно влияет на работу ЛОВ (на частоту колебаний и на выходную мощность), поэтому оно стабилизируется специальным стабилизатором, собранным на транзисторах ПП3, ПП2, ПП1 (рис. 4.7).

В стабилизатор напряжения входят: однокаскадный усилитель постоянного тока (ПП3) и "составной транзистор" (образованный транзисторами ПП2, ПП1), играющий роль регулируемого сопротивления.

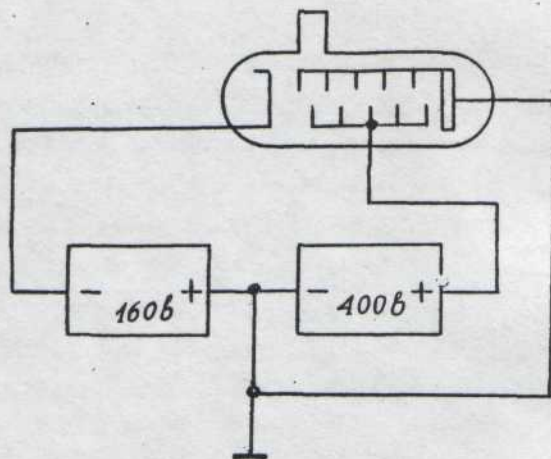


Рис. 4.12. Функциональная схема питания ЛОВ.

Работает стабилизатор следующим образом: часть выходного напряжения положительной относительно эмиттера полярности с резисторов R_{33} , R_{34} , $R_{35,36}$ подается на базу транзистора ППЗ.

Кроме этого положительного напряжения, на базу попадает отрицательное напряжение с резистора R_{32} , включенного в цепь эмиттера.

Результирующее положительное напряжение на базе транзистора ППЗ определяет величину тока коллектора, который одновременно является током базы транзистора ПП2 и определяет величину тока коллектора этого транзистора. Ток коллектора транзистора ПП2 одновременно является током базы транзистора ПП1, и величина его определяет величину проходного сопротивления транзистора ПП1, через который проходит ток нагрузки.

Предположим, что напряжение источника питания увеличилось (~ 115 в), при этом увеличится выходное напряжение стабилизатора, следовательно, положительное напряжение на базе транзистора ППЗ, поступающее с движка резистора R_{33} , тоже увеличится. Но это изменение напряжения на базе будет незначительным, так как все изменение напряжения распределится пропорционально сопротивлению резистора R_{33} (это самое большое сопротивление в цепочке).

А на резисторе R_{32} , благодаря стабилитрону Д15 (Д818Г), на котором напряжение не изменяется, изменение напряжения будет значительным, поэтому результирующее положительное напряжение на базе транзистора ППЗ уменьшится, следовательно, уменьшатся базовые токи всех трех транзисторов (ППЗ, ПП2, ПП1), проходное сопротивление транзистора ПП1 увеличится, и выходное напряжение стабилизатора приблизится к заданному уровню.

При уменьшении выходного напряжения произойдет аналогичный процесс, но все изменения токов и напряжений будут противоположными.

§ 7. Реакция системы АПЧ на изменение частоты магнетрона

Предположим, что частота магнетрона уменьшилась, при этом фактическая промежуточная частота увеличится и дискриминатор будет выдавать положительные импульсы, полярность которых после усилителя (ППЗ) изменится на отрицательную. После униполярного усилителя (ПП4, ПП6) полярность импульсов вновь станет положительной. На выходе пик-детектора появится отрицательное напряжение, анодный ток нувистора уменьшится, следовательно, уменьшится положительное напряжение на входе регулирующей схемы. Уменьшится напряжение на выходе стабилизатора, уменьшится амплитуда импульсов ППН, следовательно, уменьшится напряжение на выходе выпрямителя, поступающее на замедляющую систему ЛОВ, частота колебаний ЛОВ уменьшится, и промежуточная частота приблизится к номинальной.

Глава 5. КАНАЛ СИНХРОНИЗАЦИИ

§ 1. Особенности синхронизации РЛС

Синхронизация работы всех каналов РЛС осуществляется при работе передатчика (т.е. во всех режимах, кроме режима "Готовность"). В качестве синхронизирующих импульсов используются старт-импульсы, возникающие в специальной обмотке выходного трансформатора модулятора (Тр2).

Частота повторения этих импульсов равняется частоте источника питания (400 гц), длительность-около 2 мксек, амплитуда 6 в, полярность-отрицательная.

Старт-импульсы поступают в два адреса: в схему ВАРУ и в канал синхронизации.

В канале синхронизации создаются импульсы масштабных меток и прямоугольные импульсы, которые используются в качестве импульсов подсвета и управляющих импульсов для канала развертки.

Длительность прямоугольных импульсов точно равняется времени прямого хода электронного луча и соответственно изменяется при переходе с одного масштаба на другой.

В режиме "Готовность" модулятор не работает, старт-импульсы не возникают, поэтому на экране индикатора отсутствуют развертка и масштабные метки.

В режиме "Готовность" реле Р7-3 срабатывает, разрывает цепь, по которой подаются старт-импульсы от модулятора, и замыкает цепь для передачи старт-импульсов от имитатора. Реле Р2-5 обесточено ("Схема включения", рис. 2.1). Напряжение +120 в на нувистор ПУПЧ не подается — приемник не работает. Напряжение ~ 40 в 3000 гц на вход выпрямителя +18 кв не подается — индикатор не работает.

Работа РЛС на прием в режиме "Готовность" возможна только при использовании пульта "Контроля", от которого в схему РЛС подается напряжение +27 в (на реле Р2-5).

§ 2. Функциональная схема канала синхронизации

На рисунке 5.1 приведена функциональная схема канала синхронизации. В нее входят:

- входной блокинг-генератор (Э6);
- ключевой триггер (Э5);
- схема формирования меток;
- блокинг-генератор меток (Э1);
- триггерный счетчик меток (Э2, Э3, Э4);
- эмиттерный повторитель импульсов сброса (ПП8);
- эмиттерный повторитель импульсов подсвета (ПП6).

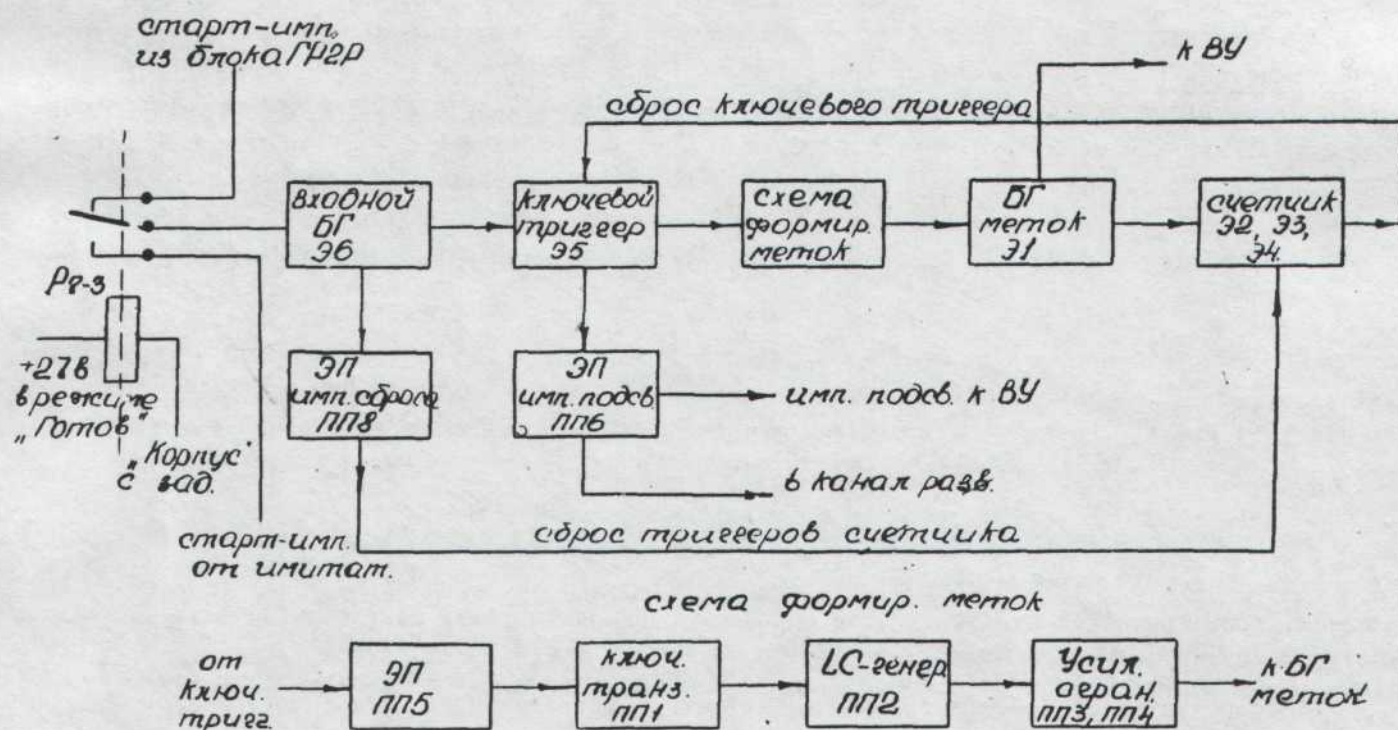


Рис. 5.1. Упрощенная функциональная схема канала синхронизации.

В схеме синхронизации используются стандартные микромодули блокинг-генератора (ЭБ, ЭИ) и триггера (Э5, Э2, Э3, Э4).

Старт-импульс запускает входной блокинг-генератор, импульсы которого используются для запуска ключевого триггера (Э5) и на некоторых масштабах — в качестве импульсов сброса счетчика.

Ключевой триггер создает импульс прямоугольной формы, который подается на вход схемы формирования меток. Схема вступает в работу, и возникают импульсы меток. Импульс первой метки совпадает по времени с передним фронтом импульса ключевого триггера и со старт-импульсом.

Основой схемы формирования меток является LC — генератор гармонических колебаний, частота которых различна для разных масштабов.

На масштабах 30 и 50 км используются 10-км метки с периодом повторения 67 мксек, что соответствует частоте 15 кгц.

На масштабе 125 км используются 25-км метки с периодом повторения 167 мксек, что соответствует частоте 6 кгц.

На масштабах 250 км и 200–375 км используются 50-км метки с периодом повторения 334 мксек, что соответствует частоте 3 кгц.

Таким образом, генератор гармонических колебаний создает колебания с частотами 15, 6 и 3 кгц. Для каждой частоты используются отдельные колебательные контуры, коммутируемые переключателем "Км" (В2).

Гармонические колебания, после усиления и ограничения, в виде импульсов прямоугольной формы подаются на вход блокинг-генератора меток ЭИ, где дифференцируются, и импульс, возникающий при дифференцировании переднего фронта прямоугольного импульса, запускает блокинг-генератор меток.

Импульсы с выхода блокинг-генератора подаются в два адреса: во-первых, в схему видеоусилителя, где смешиваются с видеоимпульсами и попадают на катод ЭЛТ, и, во-вторых, в схему счетчика.

Счетчик предназначается для определения необходимой длительности импульса ключевого триггера. Счетчик ведет подсчет импульсов меток, и когда возникает метка, которая должна располагаться на краю экрана, III триггер счетчика возвращается в исходное состояние.

Задний фронт его импульса воздействует на ключевой триггер, импульс последнего заканчивается, и генерация меток прекращается.

На всех масштабах, кроме масштаба 200–375 км, импульсы ключевого триггера через эмиттерный повторитель (ПП6) подаются в канал развертки в качестве управляющих импульсов и в схему ВУ-в качестве импульсов подсвета.

На масштабе 200–375 км в качестве управляющих импульсов развертки и импульсов подсвета используются импульсы III триггера счетчика, возникающие с задержкой в 200 км.

На этом масштабе ключевой триггер управляется только старт-импульсами (через БГ ЭБ), поэтому он выдает импульсы через такт, следовательно, пачки импульсов меток, импульсы развертки и подсвета возникают также через такт, т.е. повторяются с частотой 200 гц.

Возврат триггеров счетчика в исходное состояние осуществляется импульсами входного блокинг-генератора, поступающими через эмиттерный повторитель (ПП8) в качестве импульса сброса на специальные входы триггеров.

Таковы общие принципы работы канала синхронизации. На отдельных масштабах имеются отклонения от общей схемы, которые рассматриваются при разборе принципиальной схемы.

Прежде, чем перейти к рассмотрению общей принципиальной схемы канала синхронизации, ни-

же рассматриваются схемы ее основных узлов: микромодулей блокинг-генератора и триггера, схемы формирования меток и счетчика меток.

§ 3. Блокинг-генератор - микромодуль № 4У18Б (Э1 и Э6)

Принципиальная схема микромодуля № 4У18Б приведен на рисунке 5.2. Блокинг-генератор (БГ) представляет собой ждущий БГ, имеющий два входа (выводы 2 и 8) и два выхода (выводы 3, 4 и 13).

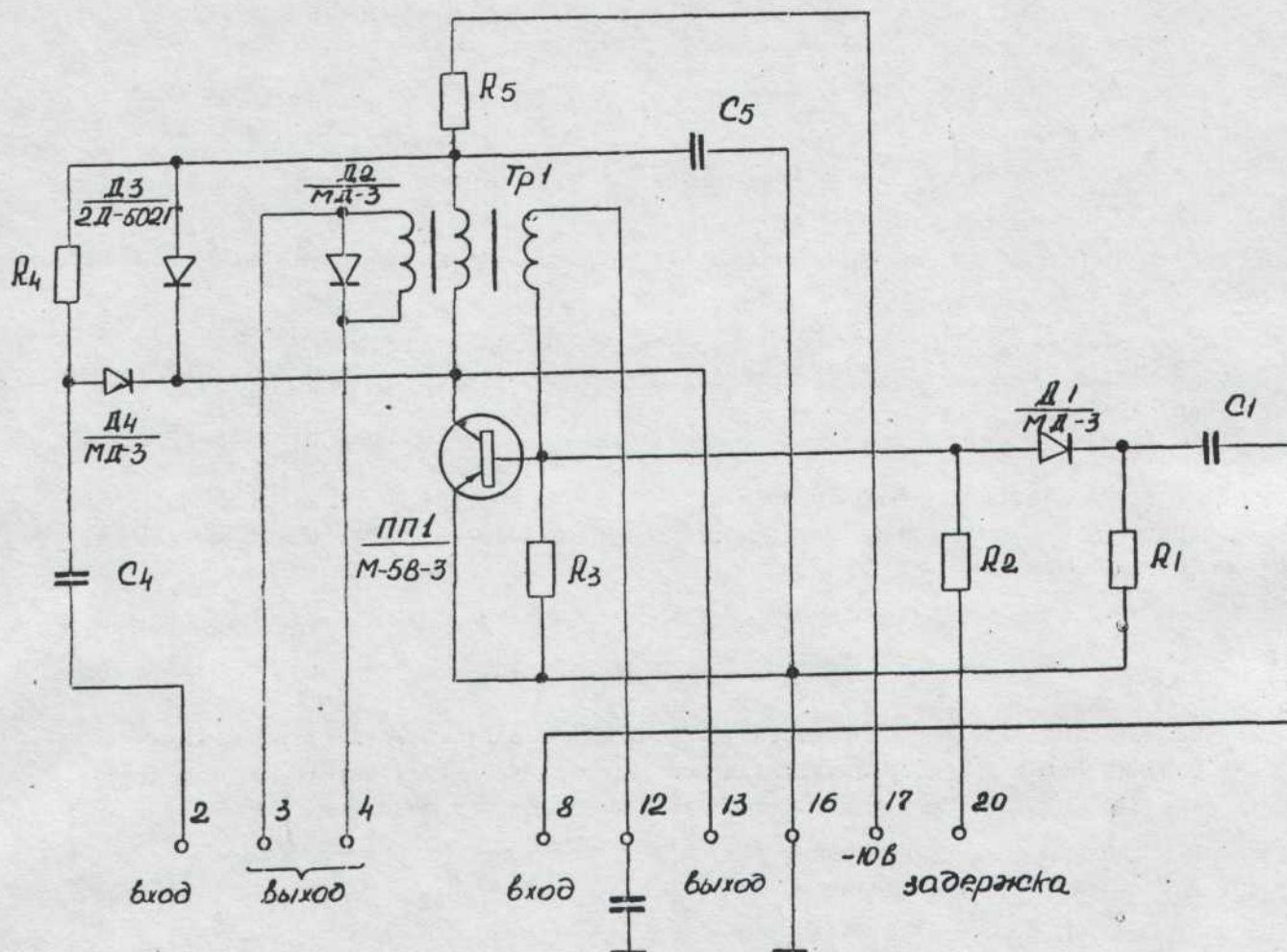


Рис. 5.2. Схема блокинг-генератора (микромодуль № 4У18Б).

Ячейки C_4, R_4 и C_1, R_1 представляют собой дифференцирующие цепочки. Диоды D_4 и D_1 пропускают в схему БГ импульсы только с необходимой для запуска полярностью.

Ячейка R_5, C_5 образует фильтр в цепи коллектора.

Резисторы R_2, R_3 представляют собой делитель, через который подается на базу положительное напряжение, закрывающее транзистор в исходном режиме.

Конденсатор, определяющий длительность импульса, присоединяется к выводу 12 микромодуля.

Диод D_3 защищает транзистор от пробоя в момент, когда он закрывается (э.д.с., возникающая в обмотке трансформатора, складывается с напряжением источника питания).

Диод D_2 срезает импульсы ненужной полярности, возникающие в выходной обмотке трансформатора.

Трансформатор, как всегда в схеме БГ, предназначается для получения глубокой положительной обратной связи.

Исходный режим. Транзистор закрыт положительным напряжением на базе, которое возникает на резисторе R_3 за счет источника, присоединяемого к выводу 20.

Динамика. Пусковой импульс прямоугольной формы положительной полярности подается на вывод 2. Он дифференцируется цепью C_4, R_4 , и в момент, соответствующий переднему фронту пускового импульса, возникает пусковой ток, проходящий по цепи: источник пускового импульса — C_4 — R_4 — средняя обмотка трансформатора — C_5 — корпус (источник пускового импульса).

Пусковой ток вызывает появление в обмотке обратной связи (правая по схеме) э.д.с. взаимной индукции отрицательной полярности, под действием которой транзистор открывается. Возникает базовый ток, проходящий по цепи: обмотка трансформатора (правая) — времязадающий конденсатор — корпус — переход эмиттер-база — обмотка трансформатора. Под действием базового тока появляется ток коллектора, и транзистор из закрытого состояния мгновенно переходит в состояние насыщения.

Длительность импульса определяется временем заряда времязадающего конденсатора. Чем больше его емкость, тем заряжается он дольше и длительность импульса больше ($T_{\text{и}} \approx 3C_{\text{вз}} R_4$).

Если для запуска используются импульсы отрицательной полярности, то они подаются на вывод 8, дифференцируются цепью C_1, R_1 , и в момент возникновения переднего фронта пускового импульса появляется базовый ток, проходящий по цепи: источник пусковых импульсов — корпус — переход эмиттер-база — D_1 — C_1 — источник пусковых импульсов. Транзистор открывается, и происходит блокинг-процесс.

Выходные импульсы снимаются или непосредственно с коллектора транзистора (вывод 13 — положительной полярности), или с выходной обмотки трансформатора. В этом случае полярность импульсов зависит от того, какой вывод (3 или 4) заземлен и с какого снимаются импульсы.

§ 4. Триггер — микромодуль № ИВ02Б (32, 33, 34, 35)

Принципиальная схема микромодуля № ИВ02Б приведена на рисунке 5.3.

Схема называется схемой триггера с эмиттерной связью. Она имеет три входа (выводы 12, 4, 17) и два выхода (выводы 8, 16).

Основным входом является вывод 12. Выводы 4, 17 используются для "сброса", т.е. для возврата триггера в исходное состояние.

На выходах 8 и 16 возникают импульсы противоположной полярности.

Ячейка C_1, R_2 служит для дифференцирования пусковых импульсов. Диоды D_1 и D_2 обеспечивают развязку между коллекторами транзисторов, т.е. служат для того, чтобы последние не были связаны друг с другом по цепи подачи пусковых импульсов.

Конденсаторы C_2 и C_3 являются ускоряющими, они увеличивают крутизну фронтов выходных импульсов.

Резисторы R_3, R_4, R_5 и R_9 образуют делитель напряжения, через который осуществляется связь между коллектором транзистора ПП1 с базой транзистора ПП2. Резисторы R_{11}, R_{10}, R_8 и R_6 образуют аналогичный делитель, связывающий коллектор транзистора ПП2 с базой транзистора ПП1.

Резистор R_1 предназначается для получения положительного напряжения, закрывающего один из транзисторов.

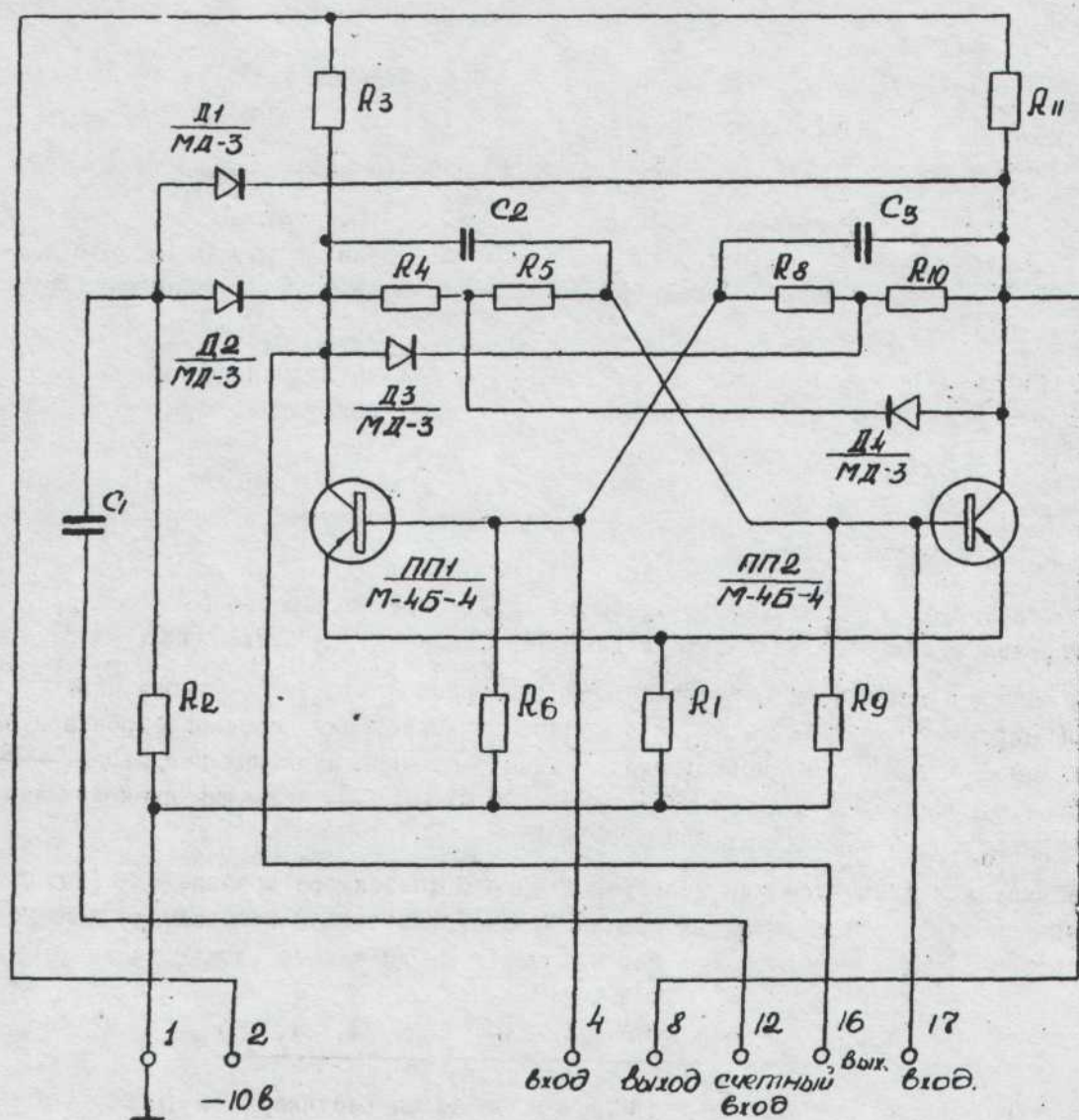


Рис. 5.3. Схема триггера (микромодуль № IB02B).

Резисторы R_3 и R_{11} служат коллекторной нагрузкой транзисторов.

Диоды Д3 и Д4 являются фиксирующими. Они исключают возможность входа транзисторов в состояние насыщения, что повлияло бы на длительность импульсов.

Исходный режим. В исходном режиме триггер находится в одном из устойчивых состояний. Предположим, что транзистор ПП1 открыт, а транзистор ПП2 закрыт.

Ток коллектора транзистора ПП1 проходит по цепи: корпус ("плюс" источника -10 в) $\rightarrow R_1 \rightarrow$ переход эмиттер-коллектор (ПП1) $\rightarrow R_3 \rightarrow$ источник -10 в.

Этот ток создает значительное падение напряжения на резисторе R_3 , поэтому падение напряжения на резисторе R_9 , входящего в состав делителя (R_3, R_4, R_5, R_9), мало. Оно меньше падения напряжения, которое создает ток коллектора на резисторе R_1 .

Результирующее напряжение на базе транзистора ПП2 ($U_{\delta 2} = +U_{R1} - U_{R9}$; $U_{R1} > U_{R9}$) положительно, и транзистор ПП2 закрыт.

Ток коллектора транзистора ПП2 отсутствует, поэтому падение напряжения на резисторе

R_H мало, а на резисторе R_6 — велико, результирующее напряжение на базе транзистора ПП1 отрицательно ($U_{B1} = +U_{R1} - U_{R6}$; $U_{R6} > U_{R1}$), и он открыт.

Динамика. Под действием пускового импульса, поданного на вывод I2, возникает пусковой ток, который проходит по цепи: источник пусковых импульсов — СИ — Д1 — R_H — источник -I0 в — корпус (источник пусковых импульсов). Падению напряжения на резисторе R_H резко увеличивается, а на резисторе R_6 соответственно уменьшается.

Уменьшается ток коллектора транзистора ПП1, в результате чего U_{R1} уменьшается, а U_{R6} увеличивается. Результирующее напряжение на базе транзистора ПП2 становится отрицательным, он открывается, и триггер переходит во второе устойчивое состояние, в котором транзистор ПП2 открыт, а транзистор ПП1 закрыт.

В этом состоянии схема будет находиться до тех пор, пока на вывод I2 не поступит очередной пусковой импульс или на выводы 4 и I7 не будет подан импульс сброса.

Импульсы положительной полярности снимаются с коллектора транзистора ПП2 (вывод 8), а импульсы отрицательной полярности — с коллектора транзистора ПП1 (вывод I6).

Если триггер в исходном режиме будет находиться в другом устойчивом состоянии (ПП2 открыт, а ПП1 закрыт), то полярность выходных импульсов будет противоположной.

Исходное состояние триггера принято характеризовать цифрами: цифра "0" обозначает открытое состояние транзистора, а цифра "1" — закрытое. Таким образом, в выбранном нами случае исходное состояние триггера следует обозначить 0-1.

Поясним роль диодов Д3 и Д4. Когда транзистор ПП1 открывается, часть тока коллектора проходит через диод Д3 и резисторы R_{10} , R_H . На последних возникает дополнительное падение напряжения, следовательно, уменьшается отрицательное напряжение на базе (U_{R6}), что приводит к ограничению базового тока и исключает возможность входа транзистора ПП1 в состояние насыщения.

Диод Д4 играет такую же роль, когда открывается транзистор ПП2.

§ 5. Схема формирования меток

Принципиальная схема формирования меток приведена на рисунке 5.4. Она состоит из эмиттерного повторителя (ПП5), ключевого транзистора (ПП1) с диодом Д2, генератора гармонических колебаний (ПП2) и усилителя-ограничителя на составном транзисторе (ПП3, ПП4).

Исходный режим. Ключевой транзистор ПП1 питается от двух источников: +I0 в и -I0 в. В исходном режиме он закрыт: напряжение на базе относительно эмиттера равно нулю. Диод Д2 открыт. Напряжение на аноде положительно. Оно равно: $U_a = +U_{B1} - U_{R2}$ ($U_{R2} < U_{B1}$).

Транзистор ПП2 используется в схеме автогенератора с общим коллектором. Питается от источника -I0 в. В исходном режиме открыт: база через резистор R_3 соединена с источником -I0 в. Колебания отсутствуют, так как ток источника +I0 в, проходя по цепи R_2 — Д2 — L_1 — корпус, насыщает сердечник, и индуктивность катушки L_1 равна нулю.

Составной транзистор закрыт. На базе транзистора ПП3 существует положительное напряжение — доли вольта (за счет падения напряжения на активном сопротивлении катушки). Транзистор ПП4 также закрыт: цепь базового тока разорвана закрытым транзистором ПП3.

Динамика. Под действием импульса отрицательной полярности, поступающего с выхода ключевого триггера (вывод I6) через ЭП (ПП5), транзистор ПП1 открывается, и ток коллектора, проходя через резистор R_2 , создает на нем значительное падение напряжения (больше 10 в), поэтому результирующее напряжение на аноде диода оказывается отрицательным, и он закрывается.

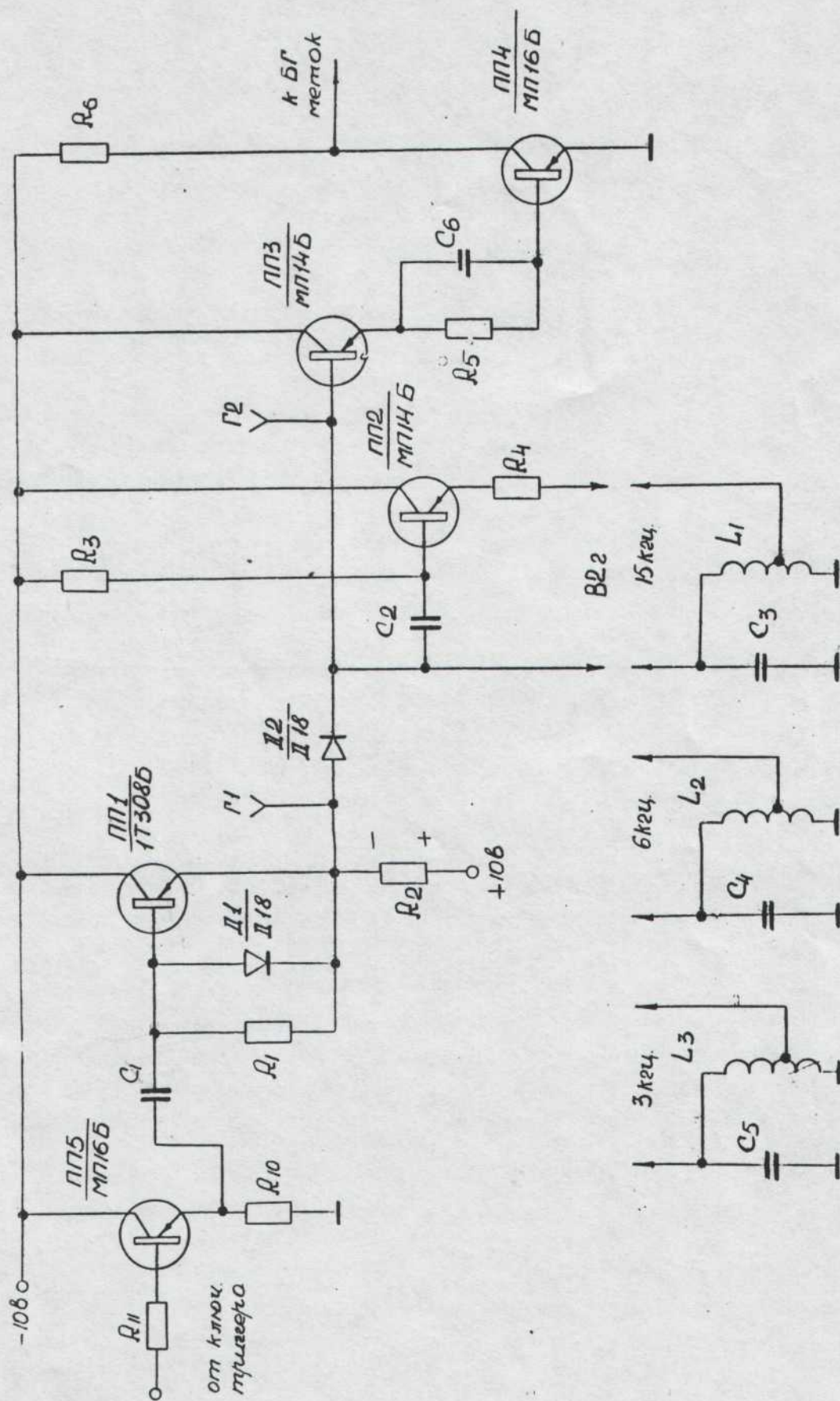


Рис. 5.4. Схема формирования меток.

При этом ток, проходивший в исходном режиме через катушку, исчезает, и сердечник выходит из состояния насыщения.

В контуре L_1, C_3 , вследствие ударного возбуждения, появляются собственные колебания, которые поддерживаются за счет обратной связи, осуществляемой через транзистор ПП2.

Колебания с контура L_1, C_3 поступают на базу транзистора ПП3 и в отрицательные полупериоды открывают его. Эмиттерный ток транзистора ПП3 образует базовый ток транзистора ПП4. Транзистор ПП4 открывается и переходит в состояние насыщения, вследствие чего происходит ограничение и на выходе схемы формирования меток появляются импульсы прямоугольной формы положительной полярности.

Частота повторения выходных импульсов равняется частоте собственных колебаний контура L_1, C_3 . При переключении масштабов переключатель "Км" (В2г) коммутирует колебательные контуры, и частота повторения выходных импульсов, а следовательно, и масштабных меток изменяется соответственно выбранному масштабу.

Как только импульс ключевого триггера закончится, транзистор ПП1 закроется, диод Д2 откроется, произойдет насыщение сердечника катушки L_1 , колебания в контуре сорвутся и генерация меток прекратится.

§ 6. Триггерный счетчик меток

Триггерный счетчик меток состоит из трех, последовательно соединенных триггеров (Э2, Э3, Э4), представляющих собой микромодуль № ИВ02Б, схема которого приведена на рисунке 5.3.

Исходный режим. Все триггеры счетчика находятся в состоянии I-0 (левый транзистор закрыт, правый - открыт). Исходное состояние первого триггера (Э2) обеспечивается соответствующим подбором микромодуля при сборке синхронизатора. Исходное состояние второго и третьего триггеров (Э3 и Э4) обеспечивается подключением их выводов I7 к ЭП импульсов сброса (ПП8).

За исходное принято то состояние триггеров, в котором они находятся в режиме "Готовность".

В зависимости от количества меток, используемых на тех или других масштабах, выходные импульсы триггеров снимаются с разных выводов (8 или I6) с расчетом, чтобы задний фронт импульса Ш триггера имел положительную полярность, необходимую для сброса ключевого триггера.

Коммутация выходов триггеров осуществляется переключателем "Км" (В2д и В2в).

Динамика - масштаб 30 км. Функциональная схема счетчика для масштаба 30 км (4 метки) приведена на рисунке 5.5.

На вход I триггера (вывод I2) подаются импульсы меток с выхода (вывод I3) блокинг-генератора меток (ЭI). На выходе I триггера (вывод 8) возникают импульсы отрицательной полярности, которые подаются на вход II триггера (вывод I2), дифференцируются, и положительные перепады напряжения, возникающие при дифференцировании задних фронтов импульсов I триггера, запускают II триггер.

Импульсы сброса на I триггер не подаются, так как при четном количестве меток он сам возвращается в исходное состояние.

На II и III триггеры подаются импульсы сброса отрицательной полярности от ЭП (ПП8), которые по времени совпадают с первой меткой.

На II триггер (вывод I7) импульсы сброса попадают в то время, когда правый транзистор открыт и поэтому не изменяют состояние триггера.

Работа третьего триггера имеет особенности. Первый импульс сброса попадает на базу

цировании импульсов II триггера;

- выходные импульсы III триггера снимаются с вывода 8.

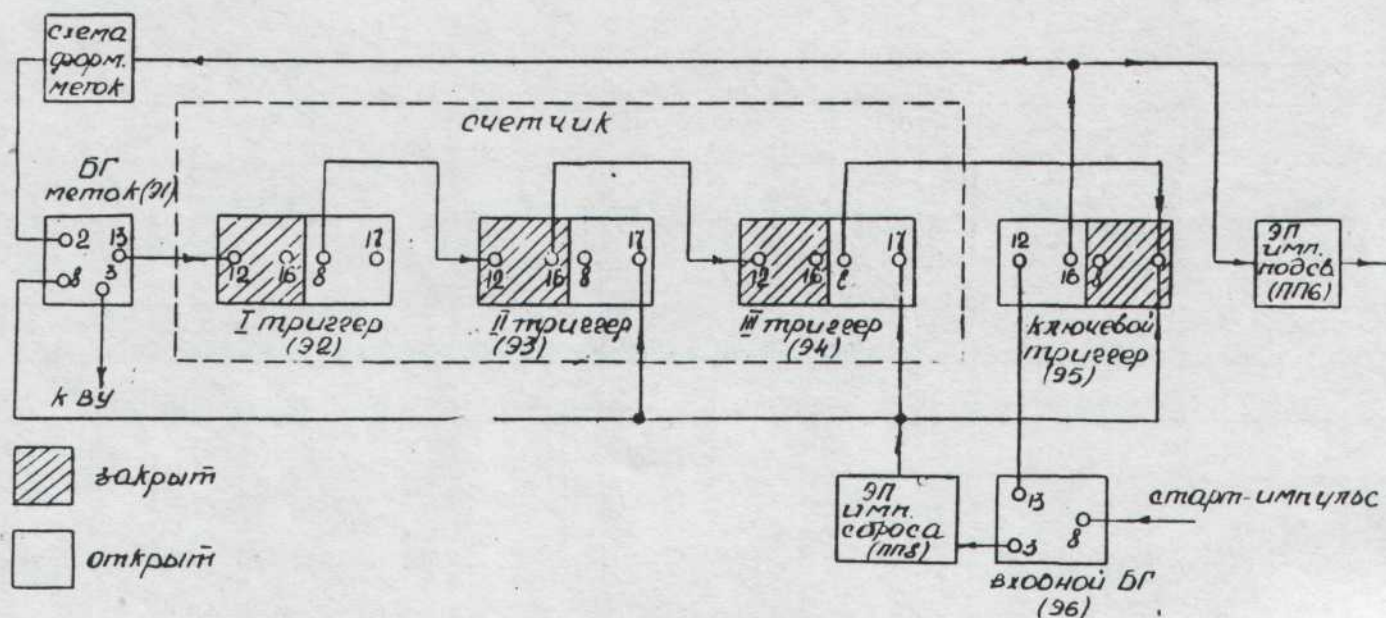


Рис. 5.7. Функциональная схема счетчика для масштабов 50, 125 и 250 км.

Эпюры, поясняющие работу счетчика на масштабах 50, 125 и 250 км, приведены на рис. 5.8.

Масштаб 200-375 км. Функциональная схема счетчика для масштаба 200-375 км приведена на рисунке 5.9. Особенности работы счетчика на этом масштабе заключаются в следующем:

- ключевой триггер (95) управляется только импульсами запуска, поступающими от БГ (96). Первый импульс запускает, следующий - сбрасывает. Длительность импульса ключевого триггера равняется периоду повторения запускающих импульсов. На рисунке 5.10 приведены эпюры, поясняющие работу счетчика и ключевого триггера на масштабе 200-375 км, из которых видно, что импульсы ключевого триггера повторяются через период пусковых импульсов. Следовательно, пакеты меток, импульсы развертки и подсвета возникают также через

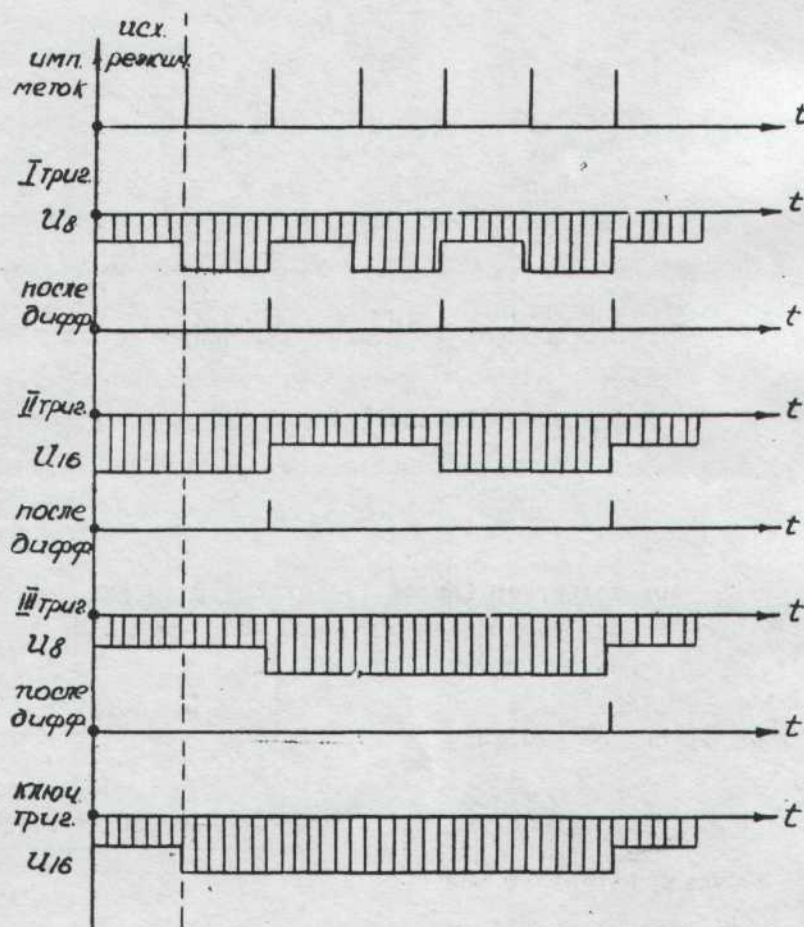


Рис. 5.8. Эпюры, поясняющие работу счетчика на масштабах 50, 125 и 250 км.

период, т.е. повторяются с частотой 200 гц;

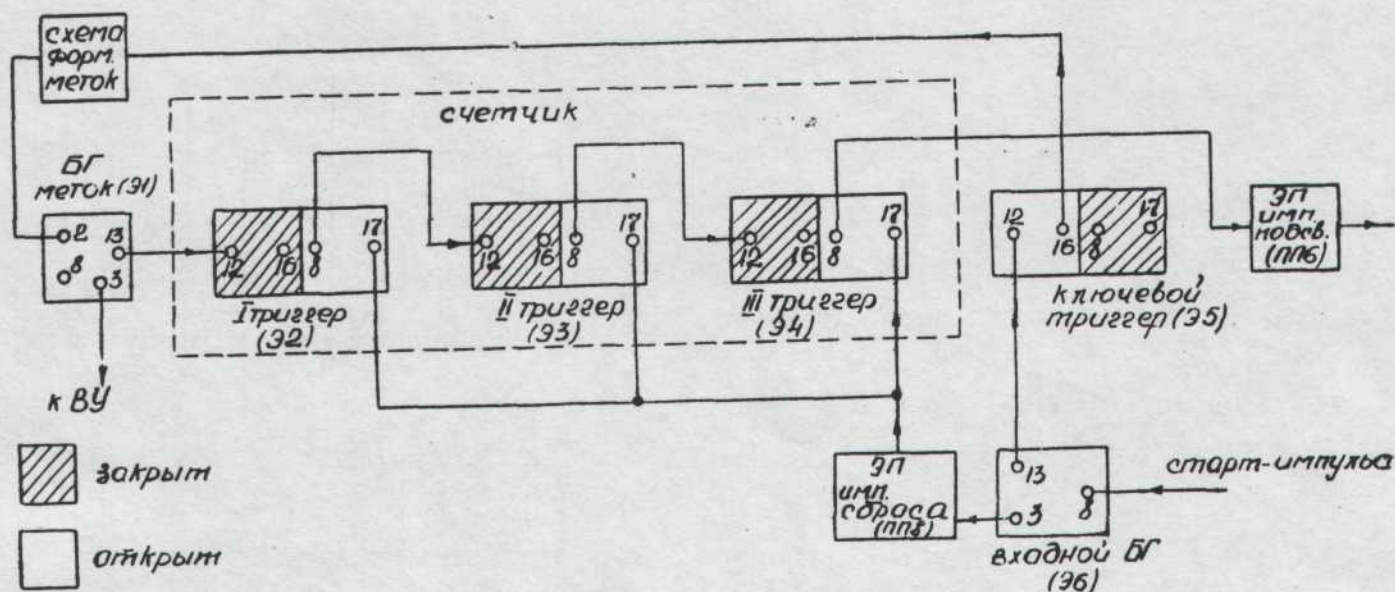


Рис. 5.9. Функциональная схема счетчика масштаба 200-375 км.

- импульсы ключевого триггера используются только для управления генератором меток;
- импульсы III триггера возникают с задержкой на 200 км относительно импульса запуска;
- III триггер запускается задним фронтом первого импульса II триггера, совпадающим по времени с пятой меткой, и возвращается в исходное состояние под действием заднего фронта второго импульса II триггера, совпадающего по времени с импульсом сброса, который возникает после восьмой метки;
- длительность импульса III триггера зависит от частоты источника питания, с которой повторяются импульсы запуска (сброса). При номинальной частоте источника питания (400 гц) она составляет 1166 мксек (175 км). При отклонении частоты источника питания от номинала в пределах допуска (+20 гц, -40 гц) длительность импульса III триггера лежит в пределах от 1046 мксек (157 км) до 1446 мксек (216 км);
- импульсы III триггера используются в качестве импульсов управления разверткой и импульсов подсвета. Они с вывода 8 подаются на ЭП (ПП6) и далее поступают в канал развертки и в видеоусилитель;
- на первый триггер (вывод 17) подаются импульсы сброса отрицательной полярности, под действием которых прерывается формирование последнего импульса I триггера, и он имеет меньшую длительность. Важно отметить, что импульс сброса имеет значительно большую длительность (6-8 мксек), чем импульс меток, поэтому первый триггер от первой метки не срабатывает, так как импульс сброса удерживает второй транзистор в открытом состоянии.

§ 7. Ключевой триггер

Импульсы ключевого триггера используются:

- на всех масштабах для управления схемой формирования меток;
- на масштабах 30, 50, 125 и 250 км в качестве импульсов, управляющих разверткой, и импульсов подсвета.

В качестве ключевого триггера (95) применен микромодуль № 1В02Б, принципиальная схема которого приведена на рис. 5.3.

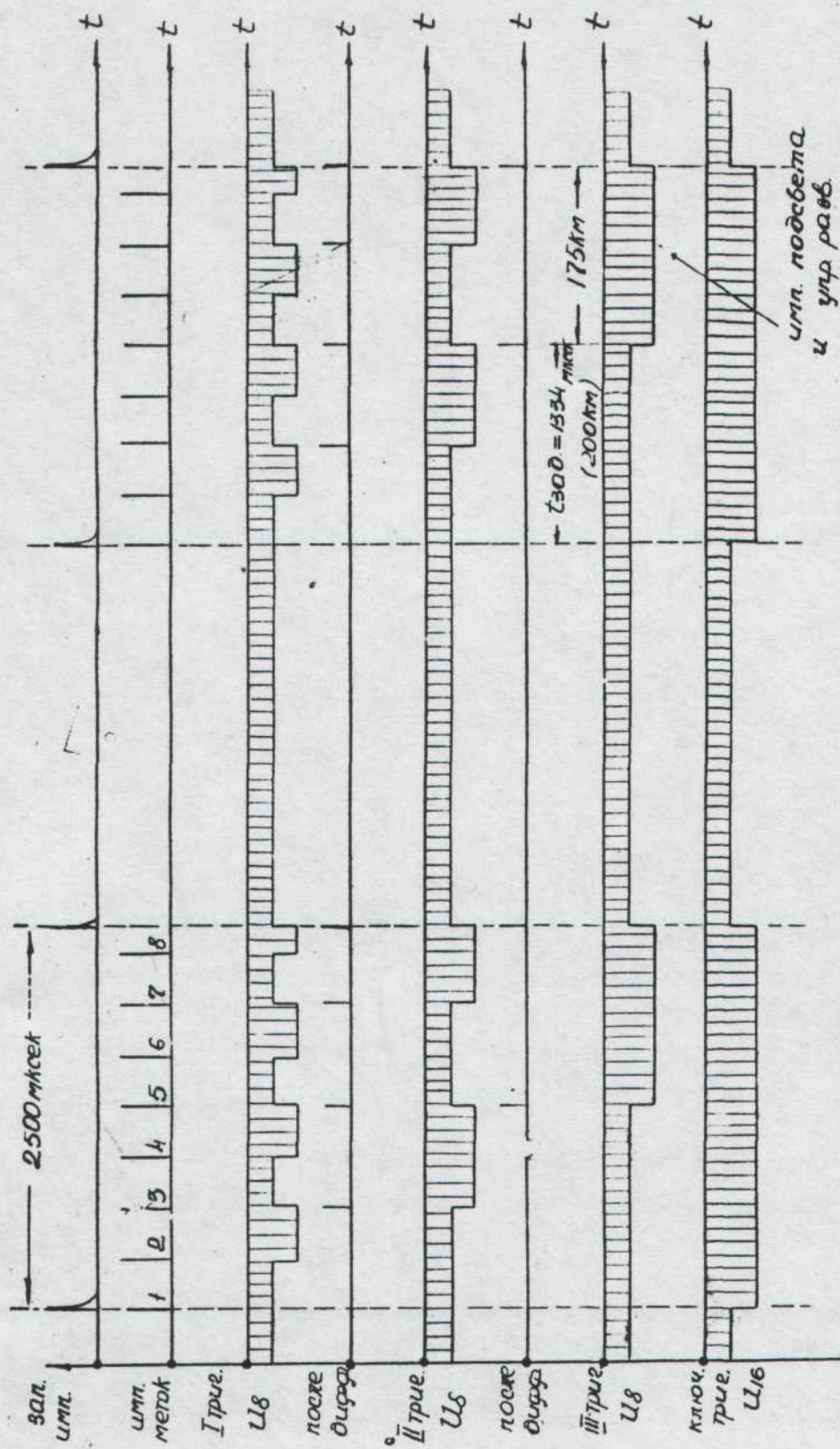


Рис. 5.10. Эпюры, поясняющие работу счетчика на масштабе 200–375 км.

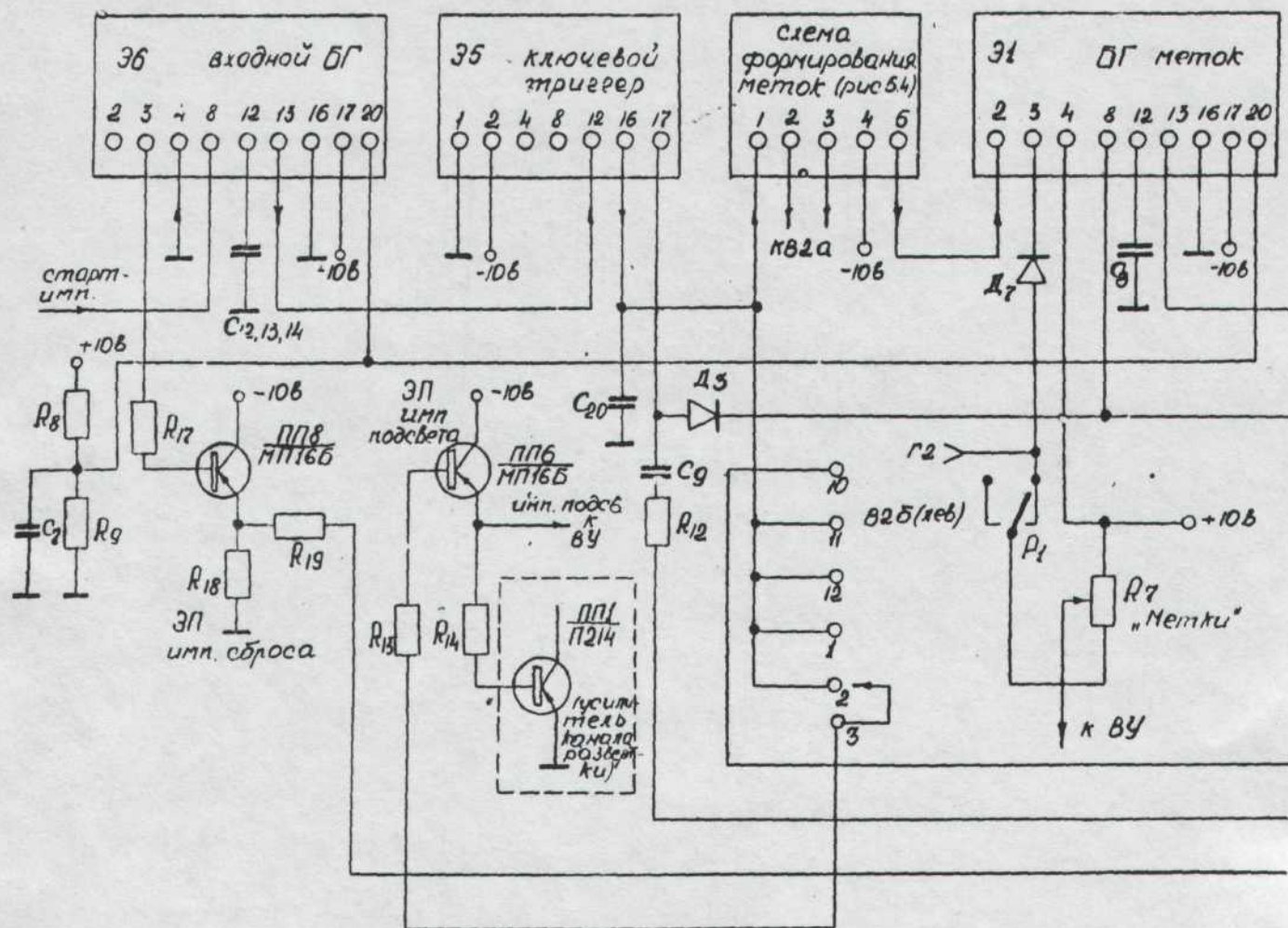


Рис. 5.II. Принципиальная схема синхронизатора.

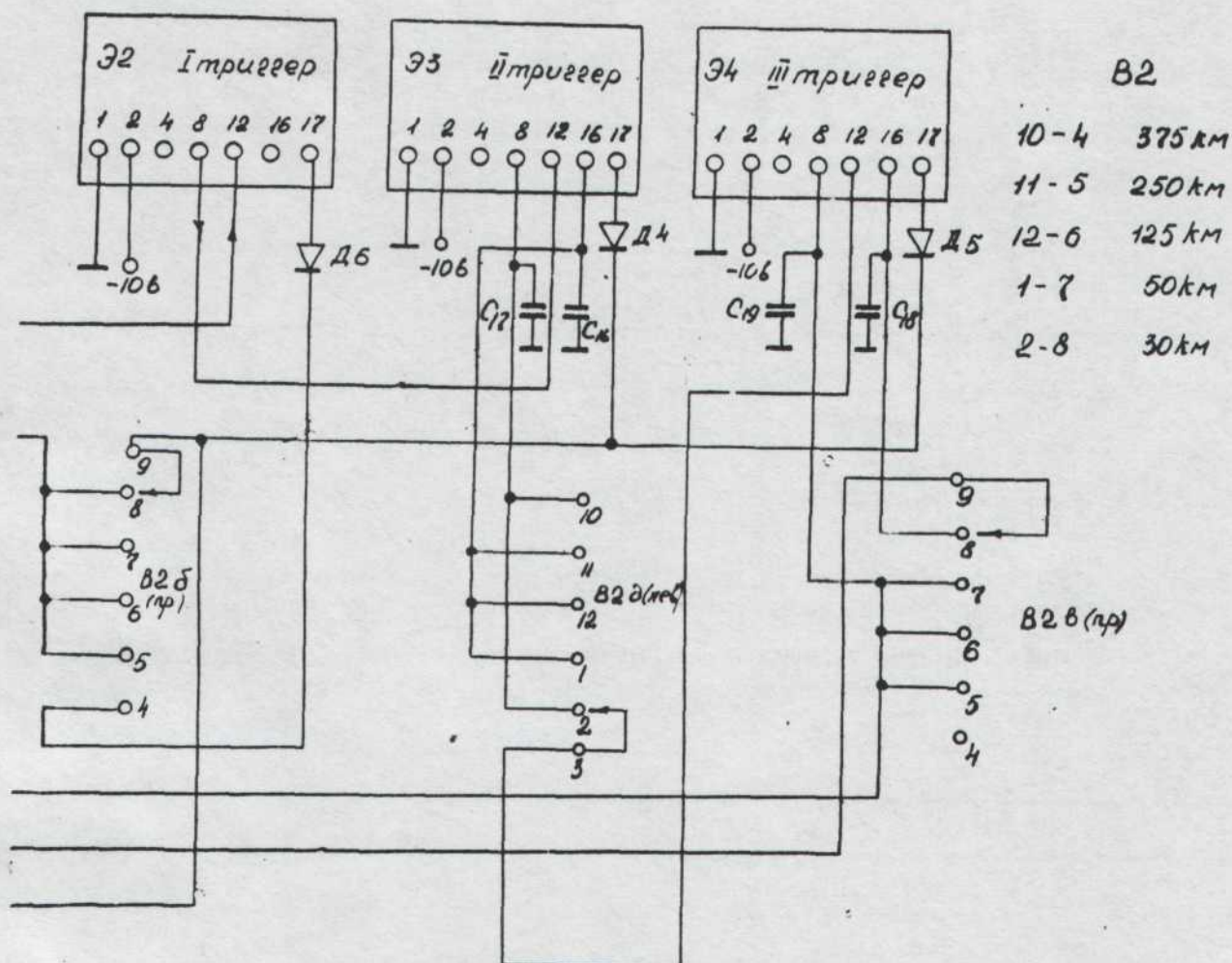
Исходный режим. Триггер находится в состоянии 0-I (левый транзистор открыт, правый - закрыт), что обеспечивается подключением вывода 16 к входу эмиттерного повторителя (ПП6). Принципиальная схема ЭП (ПП6) приведена на рисунке 5.II.

Динамика. На всех масштабах триггер запускается пусковыми импульсами, поступающими непосредственно с блокинг-генератора (36) на вывод 12. Для повышения надежности запуска на масштабах 30, 50, 125 и 250 км на вывод 17 подаются импульсы сброса, которые действуют согласованно с пусковыми импульсами и переводят триггер в состояние I-0.

Возврат в исходное состояние на всех масштабах, кроме масштаба 200-375 км, происходит под действием заднего фронта импульса III триггера, поступающего на вывод 17.

На масштабе 200-375 км и запуск и возврат в исходное состояние происходит под действием пусковых импульсов, поступающих на вывод 12. Импульсы сброса на этом масштабе на ключевой триггер не подаются.

Выходные импульсы отрицательной полярности с вывода 16 подаются на вход схемы формирования меток (база транзистора ПП5) и через переключатель "Км" (В26) на ЭП (ПП6).



§ 8. Принципиальная схема синхронизатора

На рисунке 5.II приведена принципиальная схема синхронизатора. Так как все основные ее узлы разобраны выше, остается добавить только следующее.

С делителя R_8 , R_9 снимается положительное напряжение, которое подается на выводы 20 блокинг-генераторов (Э6 и Э1), обеспечивающее ждущий режим БГ.

К выводам 12 блокинг-генераторов (Э6 и Э1) присоединены времязадающие конденсаторы C_{12} , C_{13} , C_{14} и C_8 . Емкость конденсаторов C_{12} , C_{13} , C_{14} составляет 0,05 мкф, а конденсатора C_8 - 6800 пф. Соответственно длительности импульсов БГ составляют 8 мсек (Э6) и 1 мсек (Э1).

Диоды D_3 , D_4 , D_5 и D_6 являются развязывающими. Они служат для того, чтобы базовые цепи правых транзисторов ключевого триггера и триггеров счетчика не были связаны друг с другом через ЭП (ПП8)..

Конденсатор C_9 вместе с резистором R_9 (в схеме триггера) образуют дифференцирующую цепочку, с помощью которой дифференцируются импульсы III триггера, поступающие на вывод 17 ключевого триггера для сброса его в исходное состояние. С помощью резистора R_{12} выбирается амплитуда импульсов, возникающих при дифференцировании.

Для повышения помехоустойчивости счетчика выводы 16 и 8 II и III триггеров и ключевого триг-

гера заблокированы конденсаторами С16, С17, С18, С19, С20 емкостью по 50 пф.

Чтобы исключить влияние магнитных полей модулятора на блокинг-генератор меток, на вывод 8 (Э1) на всех масштабах, кроме масштаба 200-375 км, подаются импульсы сброса от ЭП (ПП8). Под действием переднего фронта прямоугольного импульса, поступающего из схемы формирования, транзистор блокинг-генератора открывается и возникает первая метка. Однако, после выдачи метки, транзистор БГ остается открытым и закрывается только после окончания импульса сброса.

Помеха от магнитного модулятора возникает при возвращении последнего в исходное состояние, т.е. в то время, пока еще длится импульс сброса.

Коммутация схемы синхронизации осуществляется четырьмя платами переключателя "Км" (В2).

Плата В2б (левая) соединяет вход ЭП (ПП6) с выводом I6 ключевого триггера (масштабы 30, 50, 125 и 250 км) или с выводом 8 Ш триггера (масштаб 200-375 км).

Плата В2б (правая) соединяет выход ЭП (ПП6) с выводом I7 ключевого триггера и с выводом 8 БГ меток (масштабы 30, 50, 125 и 250 км) или с выводом I7 I триггера счетчика (масштаб 200-375 км).

Плата В2д (левая) соединяет вход Ш триггера (вывод I2) с выводом 8 П триггера (масштабы 30 и 200-375 км) или с выводом I6 того же триггера (масштабы 50, 125 и 250 км).

Плата В2в (правая) соединяет вывод I7 ключевого триггера с выводом 8 Ш триггера (масштабы 50, 125 и 250 км) или с выводом I6 того же триггера на масштабе 30 км.

Глава 6. КАНАЛ РАЗВЕРТКИ

§ 1. Общие сведения

В РЛС "Гроза" применяется неподвижная отклоняющая система, магнитный поток которой поворачивается синхронно с поворотом антенны в азимутальной плоскости.

Развертка используется радиально-секторная. Электронный луч совершает два движения: радиальное - от центра экрана к краю и обратно, и круговое. Двигаясь по радиусу и одновременно поворачиваясь, электронный луч последовательно облучает весь экран.

Синхронность поворота электронного луча в ЭЛТ с поворотом антенны обеспечивается с помощью ВТИ (вращающийся трансформатор, импульсный, М1-3).

§ 2. Принцип получения вращающегося магнитного потока

На рисунке 6.1 приведена упрощенная схема отклоняющей системы, которая позволяет выяснить, как возникает вращающийся магнитный поток радиально-секторной развертки.

ВТИ расположен на антенне. Ротор связан с механизмом сканирования антенны. Он состоит из двух обмоток, расположенных перпендикулярно друг к другу. Через одну из обмоток проходит ток пилообразной формы. Вторая обмотка, с целью улучшения формы тока в первой, закорочена.

Статор также состоит из двух обмоток, расположенных перпендикулярно друг к другу.

Статорные обмотки ВТИ нагружены отклоняющими катушками, расположенными на горловине трубки.

ВТИ можно рассматривать как трансформатор тока, коэффициент трансформации которого при

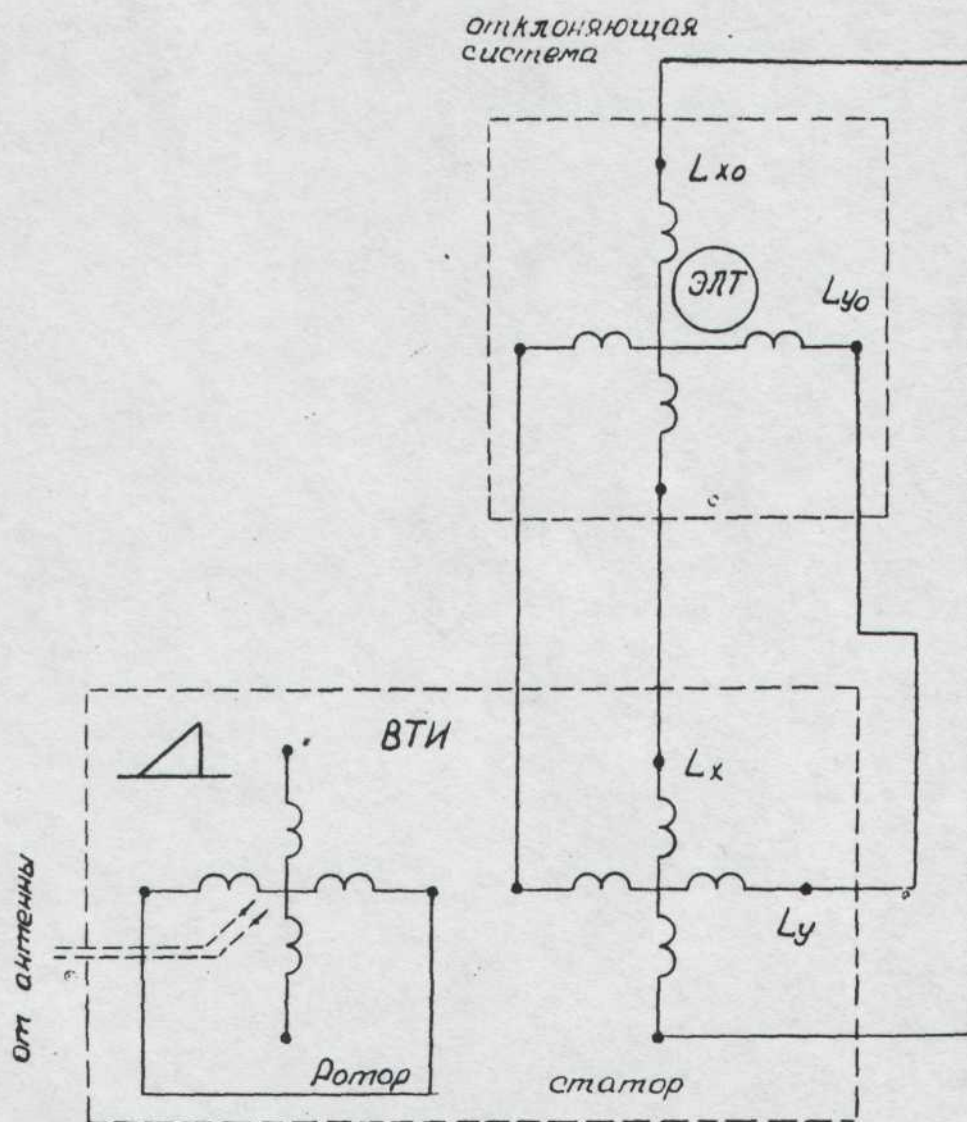


Рис. 6.1. Упрощенная схема отклоняющей системы.

повороте ротора изменяется по закону синуса (косинуса).

При питании ротора пилообразным током в статорных обмотках ВТИ и в последовательно соединенных с ними отклоняющих катушках возникают пилообразные токи, промодулированные по амплитуде в одной обмотке по закону синуса, а в другой — по закону косинуса.

Когда ось антенны совпадает с направлением продольной оси самолета, ось ротора ВТИ совпадает с направлением оси статорной катушки L_y . При этом в ней будет возникать наибольший пилообразный ток (коэффициент трансформации — максимальный), а в катушке L_x , расположенной перпендикулярно ротору ВТИ, ток возникать не будет (коэффициент трансформации равен нулю). Следовательно, в отклоняющей катушке L_{y0} , нагружающей обмотку L_y , будет проходить пилообразный ток с максимальной амплитудой, а в отклоняющей катушке L_{x0} , нагружающей обмотку L_x , тока не будет.

Магнитный поток тока отклоняющей катушки L_{y0} вызовет вертикальное отклонение электронного луча.

При повороте антенны на 45° ротор ВТИ повернется также на 45° . При этом в обеих статорных обмотках будут возникать пилообразные токи с одинаковыми амплитудами. Эти токи, протекая

по отклоняющим катушкам L_y и L_x , создадут магнитные потоки Φ_y и Φ_x , при сложении которых возникнет результирующий магнитный поток $\Phi_{рез}$. Под действием $\Phi_{рез}$ электронный луч будет совершать радиальное движение под углом 45° к первоначальному вертикальному направлению (рис. 6.2).

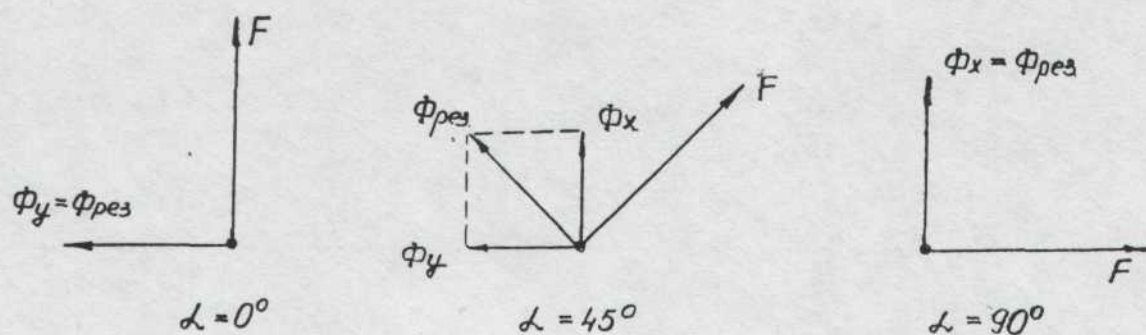


Рис. 6.2. Векторные диаграммы магнитных потоков отклоняющих катушек (F - вектор силы, действующей на электронный луч).

При повороте антенны на 90° пилообразный ток будет возникать только в одной статорной обмотке ВТИ (L_x). Результирующий магнитный поток отклоняющих катушек будет равен магнитному потоку отклоняющей катушки L_x , и электронный луч отклонится по горизонтали вправо.

На рисунке 6.3 показаны эюры токов, протекающих через отклоняющие катушки, где α - угол поворота антенны.

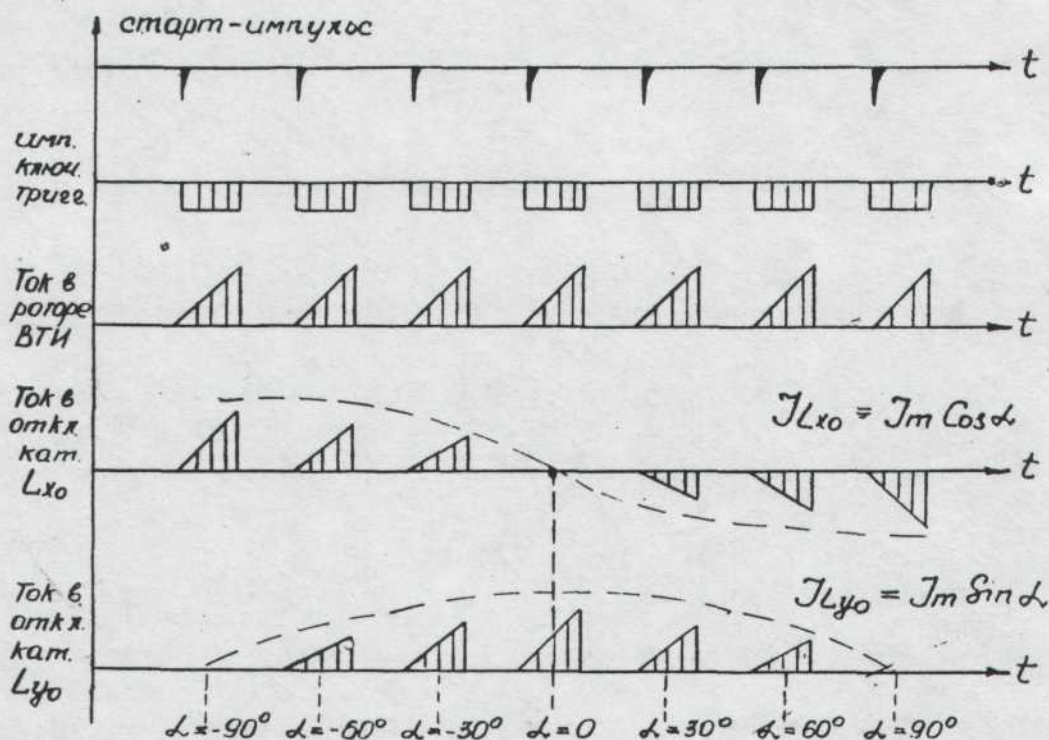


Рис. 6.3. Эюры токов, протекающих через отклоняющие катушки.

х/ Направление отклонения электронного луча определяется по правилу левой руки. Если ладонь левой руки расположить так, чтобы выпрямленные пальцы показывали направление тока ЭЛТ и чтобы плоскость ладони была перпендикулярна магнитному потоку, тогда большой палец, отогнутый в плоскости ладони, покажет направление силы, действующей на электронный луч.

ванная индуктивность которого позволяет выбрать необходимую для каждого масштаба скорость нарастания тока развертки.

Транзисторы ПП2 и ПП3 представляют собой мощные транзисторы, допускающие кратковременно ток нагрузки до 12 а.

Под действием входного импульса они открываются, сопротивление переходов эмиттер-коллектор резко уменьшается, и напряжение источника +40 в оказывается приложенным к нагрузке, т.е. к ротору ВТИ и масштабному дросселю Др3.

Так как нагрузка имеет явно выраженное индуктивное сопротивление, то ток, протекающий через нее, нарастает по закону экспоненты. Используется только начальный участок экспоненты, который, как известно, почти линейен.

Чем мельче масштаб, тем медленнее должен нарастать ток развертки, что достигается увеличением индуктивности масштабного дросселя. На рисунке 6.5 приведены эскизы тока, протекающего

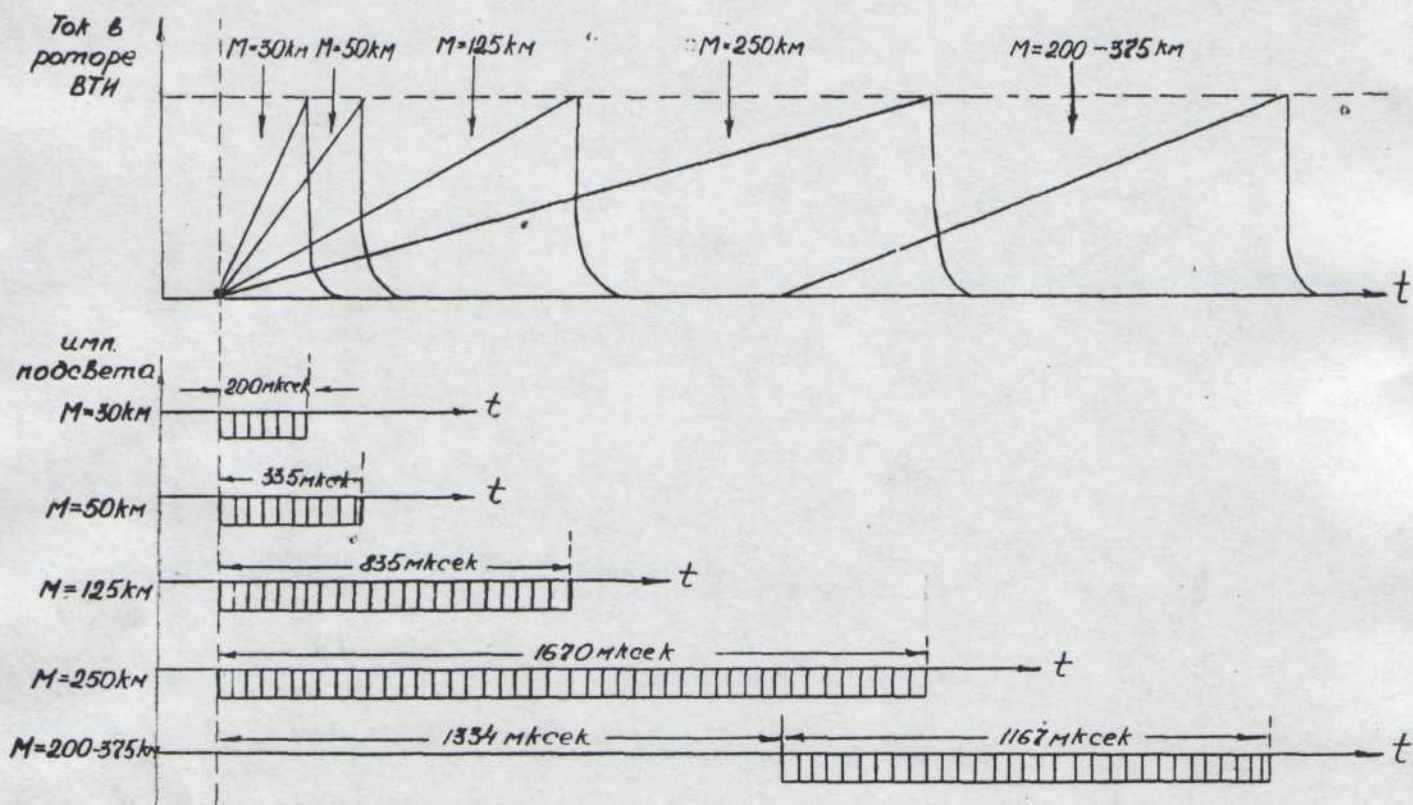


Рис. 6.5. Эскизы токов, протекающих через ротор ВТИ, и импульсов подсвета для разных масштабов.

через ротор ВТИ, для разных масштабов. Нарастание тока происходит до тех пор, пока входной импульс не закончится.

В этот момент ключевые транзисторы закрываются и индуктивности разряжаются через специальные цепи, называемые цепями привязки.

Ток, протекающий в роторе ВТИ, трансформируется в статорные обмотки, последовательно с которыми соединены отклоняющие катушки.

Электронный луч отклоняется под действием результирующего магнитного потока отклоняющих катушек, и направление его зависит от соотношения магнитных потоков Φ_y и Φ_x . Если они равны, электронный луч отклоняется под углом в 45° , если $\Phi_x > \Phi_y$, то электронный луч

отклоняется под углом $> 45^\circ$, и наоборот.

Если существует только один магнитный поток Φ_x или Φ_y , то электронный луч отклоняется соответственно по горизонтали или по вертикали.

Из сказанного становится ясной роль ВТИ. Благодаря ВТИ, при повороте антенны изменяется соотношение токов, а следовательно, и магнитных потоков отклоняющих катушек, что вызывает синхронный поворот вектора результирующего магнитного потока.

§ 4. Принципиальная схема

Принципиальная схема канала развертки приведена на рисунке 6.6. В нее входят:

- усилитель мощности прямоугольных импульсов на составном транзисторе (ПП6, ПП1);
- ключевые транзисторы ПП2, ПП3;
- цепи привязки ($ДП1, R_{11}, CI3$ и $ДП2, R_{12}, CI4$);
- диодно-фиксирующие мосты "ДФМ" ($ДП7 - Д20$ и $ДП3 - ДП6$);
- импульсный вращающийся трансформатор (ВТИ, М1-3);
- эквивалентные индуктивности отклоняющих катушек второго отсутствующего индикатора L'_{y0} и L'_{x0} (ГР35);
- отклоняющая система, состоящая из отклоняющих катушек L_{y0} и L_{x0} ;
- масштабный дроссель Др3.

Усилитель мощности прямоугольных импульсов. Ключевые транзисторы работают с большими базовыми токами. Чтобы развить эти токи, необходимы импульсы большой мощности, которые и создает усилитель. В схеме усилителя используется составной транзистор.

Исходный режим. База транзистора ПП6 (МП16Б, $p - n - p$) через переключатель В2б ("Км") соединяется или с коллектором транзистора ключевого триггера (Э5), или транзистора Ш триггера (Э4) в схеме синхронизатора, открытых в исходном режиме (рис. 6.7). Напряжение на коллекторе левого транзистора (Э5), находящегося в открытом состоянии, мало, поэтому базовый ток транзистора ПП6 мал, значит, и ток эмиттера (ПП6), являющийся током базы транзистора ПП1, также мал. Можно считать, что оба транзистора (ПП6 и ПП1) в исходном режиме закрыты.

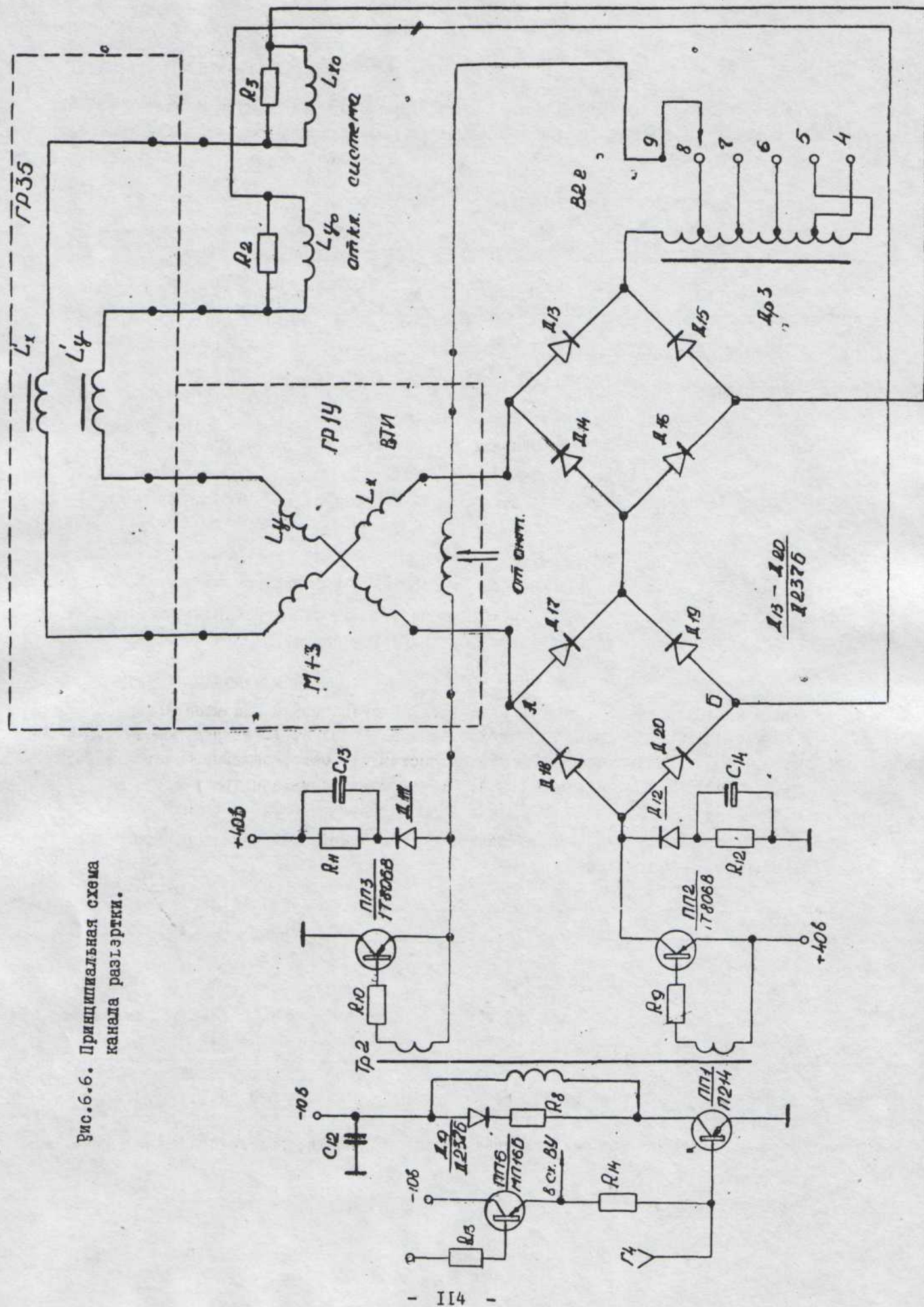
Транзистор ПП1 (П214, $p - n - p$) представляет собой мощный транзистор. Его базовый ток равен току эмиттера транзистора ПП6.

Динамика. Как только ключевой триггер Э5 (или Ш триггер счетчика Э4) перейдет во второе устойчивое состояние, левый транзистор (Э5) закроется, напряжение на коллекторе возрастет, вследствие чего отрицательное напряжение на базе транзистора ПП6 увеличится и транзисторы ПП6 и ПП1 откроются.

На резисторе нагрузки (R_{14}) транзистора ПП6 возникнет импульс отрицательной полярности, который в качестве импульса подсвета попадет (через усилитель в схеме ВУ) на окончательный виде усилитель и откроет его.

В коллекторной цепи транзистора ПП1 возникнет ток, возрастающий по закону экспоненты (нагрузка индуктивная - трансформатор Тр2). Этот ток вызовет появление на вторичных обмотках трансформатора э.д.с. взаимной индукции отрицательной полярности, под действием которой откроются транзисторы ПП2 и ПП3.

Рис. 6.6. Принципиальная схема канала разлётки.



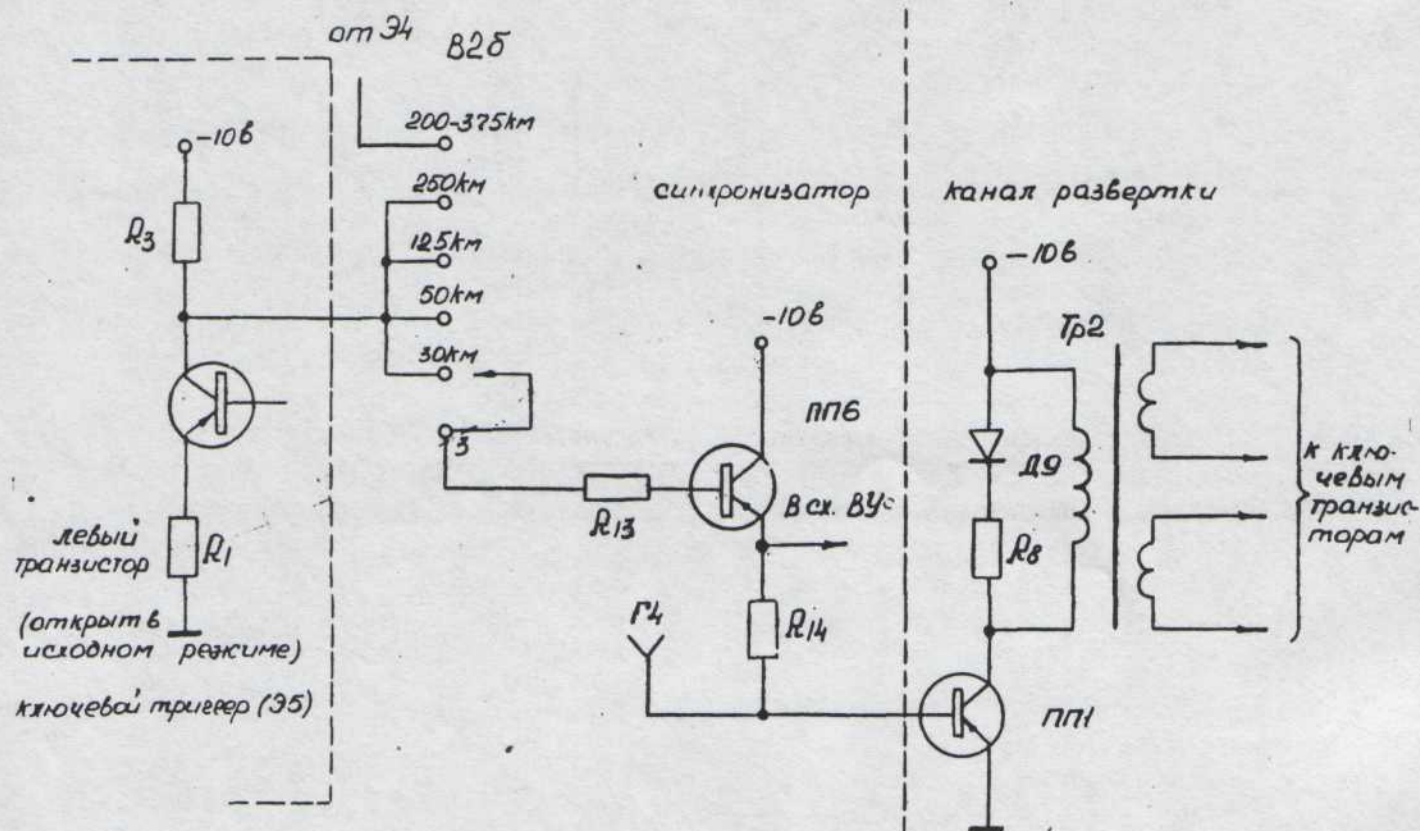


Рис. 6.7. Выборочная схема усилителя мощности.

Как только импульс триггера закончится, левый транзистор (35) откроется, напряжение на его коллекторе резко уменьшится и транзисторы ПП6 и ПП1 закроются.

В результате уменьшения тока коллектора транзистора ПП1 произойдет следующее: во-первых, во вторичных обмотках трансформатора Tr2 появится положительная э.д.с. взаимной индукции, под действием которой транзисторы ПП2 и ПП3 закроются; во-вторых, в первичной обмотке трансформатора Tr2 появится э.д.с. самоиндукции, под действием которой диод Д9 откроется и возникнет разряд индуктивности первичной обмотки через диод Д9 и резистор R8.

Если бы цепь разряда (Д9, R8) не была бы предусмотрена, то в момент, когда транзистор ПП1 закрывается, напряжение на его коллекторе резко увеличивается и возможен был бы пробой транзистора (э.д.с. самоиндукции первичной обмотки согласованно складывается с напряжением источника).

Постоянная времени цепи разряда выбрана большой, поэтому ток разряда убывает медленно, что обеспечивает нахождение транзисторов ПП2 и ПП3 в закрытом состоянии до прихода следующего импульса.

Ключевые транзисторы. Транзисторы ПП2 и ПП3 (1Т806В, р - n - р) работают как ключи. В открытом состоянии транзисторов напряжение источника +40 в через малое сопротивление коллекторно-эмиттерных переходов подключается к ротору ВТИ и масштабному дроссели Dr3.

Исходный режим. Транзисторы закрыты положительной э.д.с. взаимной индукции, существующей во вторичных обмотках трансформатора Tr2.

Динамика. Под действием э.д.с. взаимной индукции отрицательной полярности, возникающей во вторичных обмотках трансформатора Tr2, транзисторы ПП2 и ПП3 открываются и возникают базовые токи. Резисторы R9 и R10 предназначены для ограничения базовых токов. Одновременно появ-

ляется ток в коллекторной цепи, который проходит: от источника +40 в — переход эмиттер-коллектор (ПП2) — ДФМ (Д17 - Д20) — ДФМ (Д13 - Д16) — Др3 — В2г — ротор ВТИ — переход эмиттер-коллектор (ПП3) — корпус ("минус" источника +40 в).

Вследствие большой индуктивности масштабного дросселя и ротора ВТИ и малого активного сопротивления коллекторной цепи, ток нарастает медленно по экспоненциальному закону (рис.6.5).

Когда входной импульс заканчивается, под действием положительной э.д.с. взаимной индукции, возникающей во вторичных обмотках трансформатора Тр2, транзисторы ПП2 и ПП3 почти мгновенно закрываются, и индуктивности масштабного дросселя и ротора ВТИ начинают разряжаться через цепи привязки (Д11, R_{11} , С13 и Д12, R_{12} , С14). Ток разряда проходит по цепи: от ротора ВТИ — Д11 — С13 — источник +40 в — корпус — С14 — Д12 — ДФМ (Д17 - Д20) — ДФМ (Д13 - Д16) — Др3. Ток разряда индуктивностей заряжает конденсаторы С13 и С14, и энергия, запасенная в магнитном поле индуктивностей, переходит в энергию электрического поля конденсаторов. Конденсаторы С13 и С14, в свою очередь, разряжаются на резисторы R_{11} и R_{12} , и энергия электрического поля превращается в тепловую энергию.

На рисунке 6.8 приведена эквивалентная мостовая схема, на которой ток коллекторной цепи показан сплошными стрелками, а ток разряда — пунктирными.

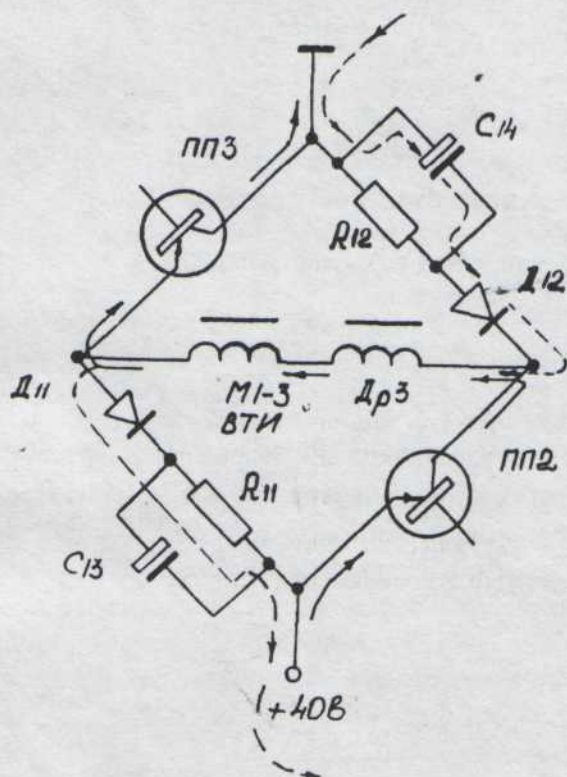


Рис.6.8. Эквивалентная мостовая схема.

Чем мельче масштаб (больше км), тем большая индуктивность масштабного дросселя включается переключателем В2г.

Масштаб 200-375 км включается с задержкой на 200 км, и линия развертки соответствует 175 км (от 200 до 375 км). Поэтому на указанном масштабе используется меньшая индуктивность, чем на масштабе 250 км.

На масштабах 250 км и 200 - 375 км с целью получения необходимой скорости нарастания тока коллекторной цепи с помощью переключателя В2д напряжение источника +40 в увеличивается до 50 в.

Отклоняющая система. Метод получения магнитного потока, поворачивающегося синхронно с поворотом антенны, разобран выше достаточно подробно. Остается только показать путь токов, питающих отклоняющие катушки, и токов разряда индуктивностей L_y, L_{y0}, L'_y и L_x, L_{x0}, L'_x . Для примера рассмотрим цепь тока, питающего отклоняющую катушку L_{y0} . Он проходит: от статорной обмотки ВТИ (L_y) —



(источником этого тока является статорная обмотка В.И). То, что ток проходит через диоды Д18 и Д19 в "обратном" направлении, не должно смущать. Диоды Д18, Д19 открыты, через них проходит большой прямой ток (ток коллекторной цепи транзисторов ПП2 и ПП3) и появление "обратного" тока следует понимать как уменьшение прямого.

Разряд индуктивностей L_y, L_{y0}, L'_y происходит по той же цепи, по которой проходит питающий ток, и заканчивается раньше, чем разряд индуктивностей ротора ВТИ и дросселя Др3.

Благодаря ДФМ, потенциал точек "А" и "Б" в любой момент одинаков, что обеспечивает начало развертки всегда из одной и той же точки.

В этой главе рассматриваются следующие вопросы:

- коммутация диаграмм направленности антенны;
- азимутальное управление антенной;
- управление наклоном диаграммы направленности;
- стабилизация плоскости обзора.

Общие сведения об антенне, которые необходимо вспомнить перед разбором материала этой главы, даны в §§ II, I2, I3 главы 2.

§ I. Коммутация диаграмм направленности антенны

На рисунке 7.1 приведена схема коммутации диаграмм направленности. При использовании узкой диаграммы реле PI-I обесточено. При этом через соленоид проходит ток от бортовой сети самолета (+27 в). С помощью потенциометра R_1 при регулировке устанавливается ток (13 ± 2 ма), необходимый для вертикальной поляризации волны. Как показано выше, вертикальная поляризация необходима для того, чтобы сделать веерный отражатель "прозрачным" для радиоволн, и тогда формировать диаграмму направленности будет параболической отражатель.

При использовании веерной диаграммы срабатывает реле PI-I, при этом изменяется величина и направление тока, проходящего через соленоид. С помощью потенциометра R_2 устанавливается величина тока (90 ± 5 ма), обеспечивающая горизонтальную поляризацию волны.

В эксплуатации прямое определение формы диаграмм направленности, требующее громоздких установок, невозможно, поэтому контроль формы диаграмм направленности осуществляется косвенно, с помощью вольтметра, присоединяемого к гнездам Г1 и Г2, по падению напряжения на соленоиде.

Необходимые значения напряжения указаны на шильдиках, помещенных около потенциометров R_1 и R_2 .

Обмотка реле PI-I включена через контакты реле P7-I и P7-2, находящихся в блоке ГР7С, и через кулачковый выключатель BI-I.

Реле P7-I срабатывает только на масштабе 250 км, и при этом в режимах "Земля" и "Снос" напряжение +27 в подается на реле PI-I через выключатель BI-I. Когда антенна движется по часовой стрелке, кулачок, связанный с осью азимута антенны, нажимает на выключатель BI-I и удерживает его в замкнутом состоянии, пока не изменится направление движения антенны.

Когда контакты выключателя BI-I замкнуты, через обмотку реле PI-I проходит ток и формируется веерная диаграмма направленности.

При размыкании контактов выключателя BI-I реле PI-I обесточивается и формируется узкая диаграмма направленности.

Таким образом, выключатель BI-I, управляя реле PI-I, обеспечивает поочередное облучение земной поверхности то широким, то узким лучом.

Реле P7-2 срабатывает на масштабе 200-375 км и своими контактами разрывает цепь питания реле PI-I, поэтому на этом масштабе во всех режимах используется только узкая диаграмма направленности.

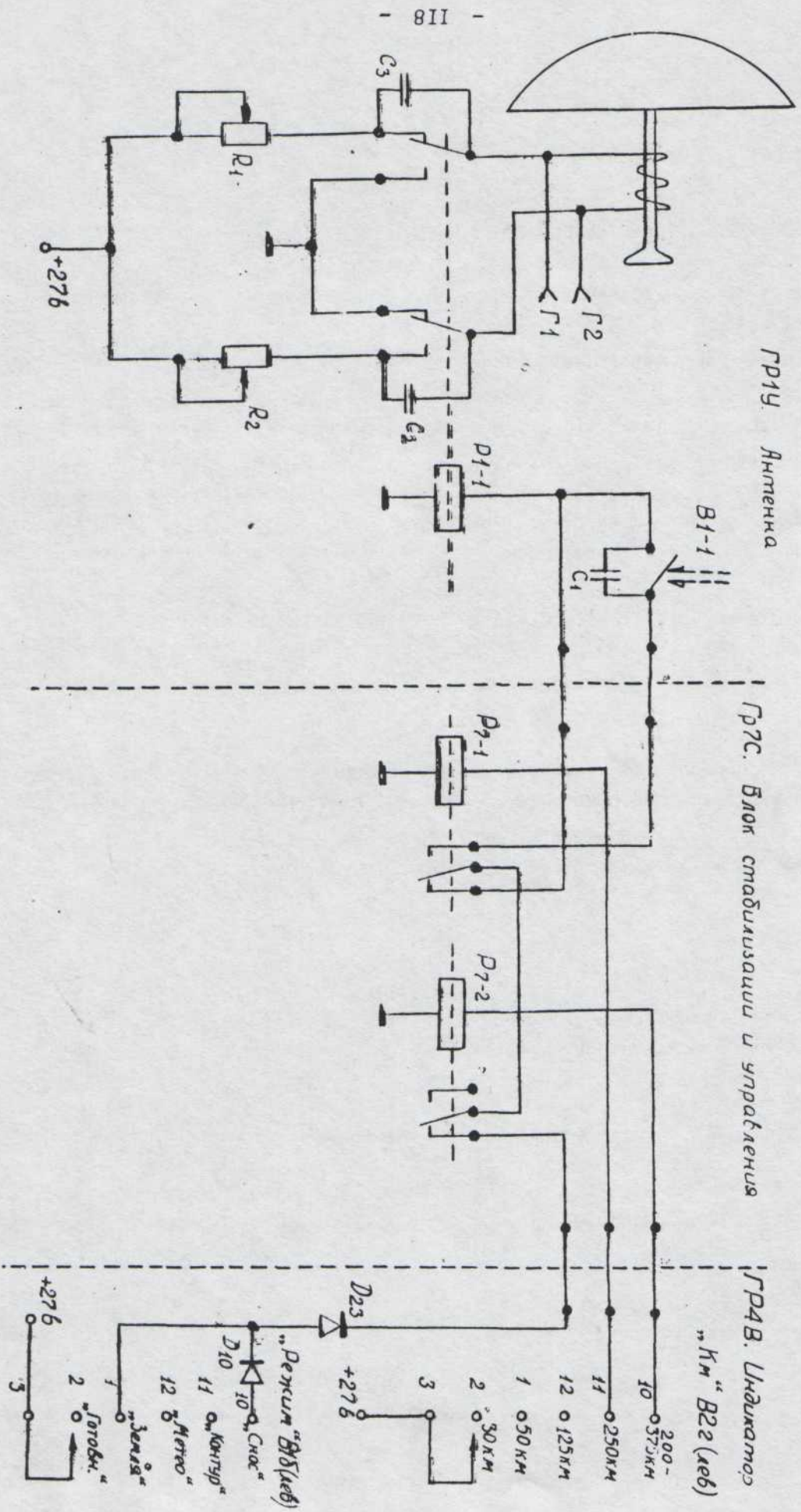


Рис. 7.1. Схема коммутации диаграмм направленности.

§ 2. Схема азимутального управления антенной

Для обеспечения сканирования антенны в горизонтальной плоскости (в плоскости азимута) используется асинхронный двухфазный двигатель М1-1, обмотка возбуждения которого питается от сети ~ 115 в 400 гц через фазосдвигающий конденсатор С1 (рис. 7.2).

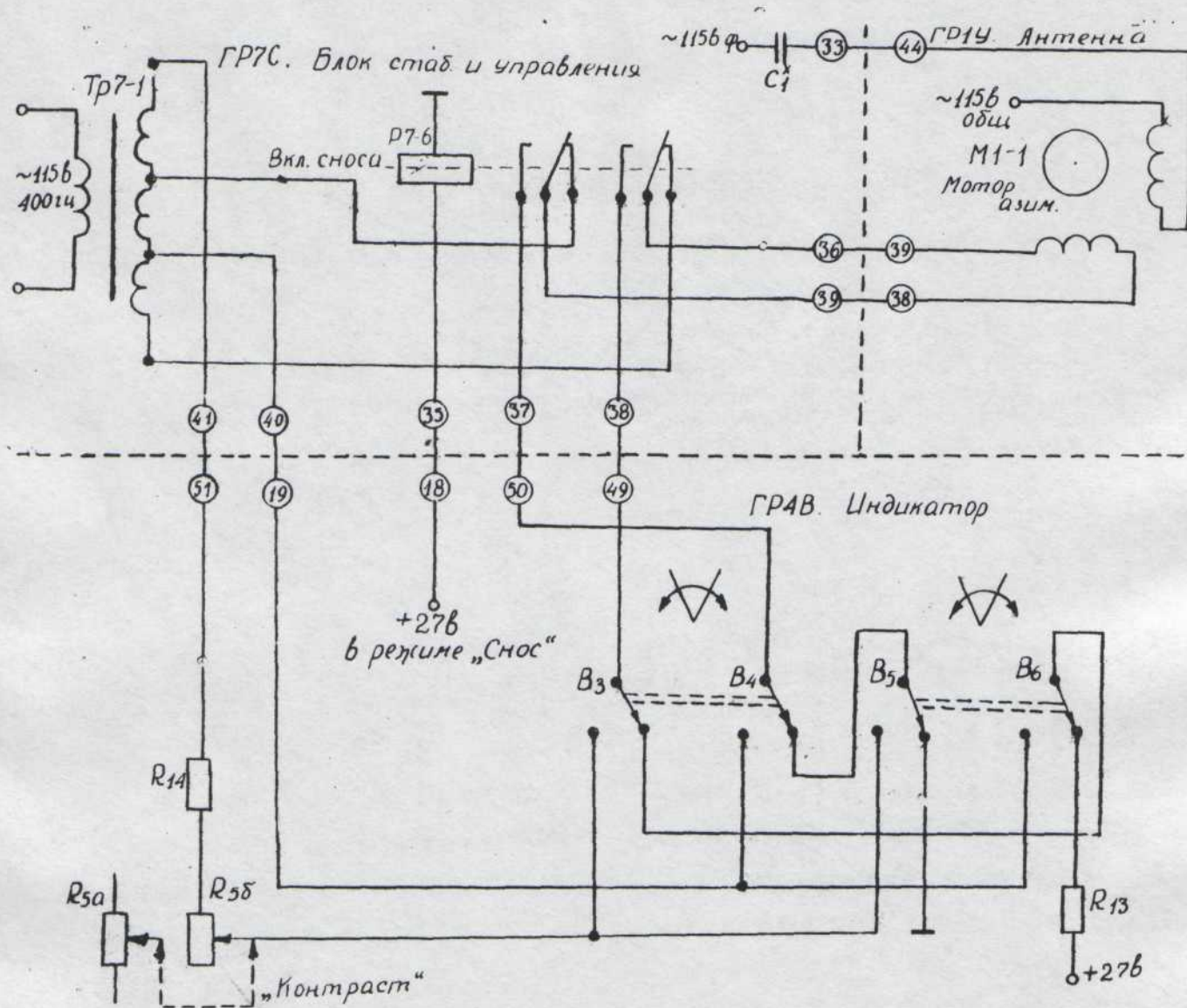


Рис. 7.2. Схема азимутального управления антенной.

На обмотку управления подается напряжение ~ 36 в от трансформатора TrI, находящегося в блоке ГР7С, через контакты реле Р7-6.

Во всех режимах, кроме режима "Снос", реле Р7-6 обесточено, двигатель М1-1 получает питание и ротор непрерывно вращается в одном направлении. Кривошипный механизм обеспечивает сканирование антенны.

При переходе в режим "Снос" срабатывает реле Р7-6, и сканирование антенны прекращается.

На обмотку управления в этом режиме напряжение подается только при нажатии одной из клавиш управления поворотом антенны.

С помощью потенциометра $R55$, насаженного на ось рукоятки "Контраст",^{х/} выбирается такая скорость поворота антенны, которая позволяет наиболее точно, по экрану индикатора, определить мин.мум вторичных доплеровских частот (глава I, § 5).

При нажатии одной из клавиш двигатель MI-I начинает поворачивать антенну в каком-либо направлении. Поворот антенны будет продолжаться до тех пор, пока нажата клавиша.

Угол сноса скоростных самолетов не превышает 15° , поэтому предельным углом поворота антенны считается угол $\pm 20^{\circ}$. Если же антенна, двигаясь, предположим, вправо, дойдет до крайнего положения, то кривошипный механизм изменит направление движения и антенна начнет двигаться влево.

При нажатии другой клавиши изменяется фаза напряжения, питающего обмотку управления двигателя MI-I, следовательно, изменяется и направление движения антенны.

При отпускании клавиши возникает электродинамическое торможение, и антенна останавливается сразу.

Под действием напряжения бортсети (+27 в), которое подается при отпущенных клавишах на обмотку управления через резистор $R13$, возникает ток, магнитный поток которого, взаимодействуя с магнитным потоком короткозамкнутого ротора, вызывает торможение ротора.

§ 3. Схема управления наклоном диаграммы направленности

Как указывалось выше, наклон диаграммы достигается наклоном сдвоенного отражателя относительно неподвижного излучателя. Схема управления наклоном является частью схемы стабилизации плоскости обзора, однако целесообразно ее рассмотреть отдельно, перед разбором общей принципиальной схемы стабилизации и управления наклоном.

Схема управления наклоном приведена на рисунке 7.3. В нее входят:

- M4-I - вращающийся трансформатор управления наклоном (ВТУ);
- MI-4 - вращающийся трансформатор отработки наклона (ВТО);
- транзисторный усилитель (ТУ);
- магнитно-тиристорный усилитель (МТУ);
- MI-5 - двигатель наклона;
- MI-6 - тахогенератор постоянного тока (ТПП).

ВТУ расположен в блоке ГР4В, и ось его ротора соединена с рукояткой "Наклон".

На статорную обмотку подается напряжение ~ 36 в 400 гц. Ротор имеет две накрест расположенные обмотки, последовательно соединенные с аналогичными обмотками ротора ВТО.

ВТО расположен в блоке ГР1У, и ось его ротора связана с осью наклона антенны. Напряжение со статорной обмотки ВТО подается на вход ТУ, выход которого соединен со входом МТУ. Нагрузкой МТУ является обмотка управления двигателя наклона.

С осью двигателя наклона (кроме механизма наклона сдвоенного отражателя) связаны: ротор ВТО и ротор тахогенератора ТПП.

Напряжение с ротора ТПП, пропорциональное скорости вращения двигателя наклона, вводится в схему ТУ в качестве напряжения отрицательной обратной связи по скорости.

^{х/} Потенциометр "Контраст" в режиме "Снос" от схемы видеоусилителя отключается и не используется.

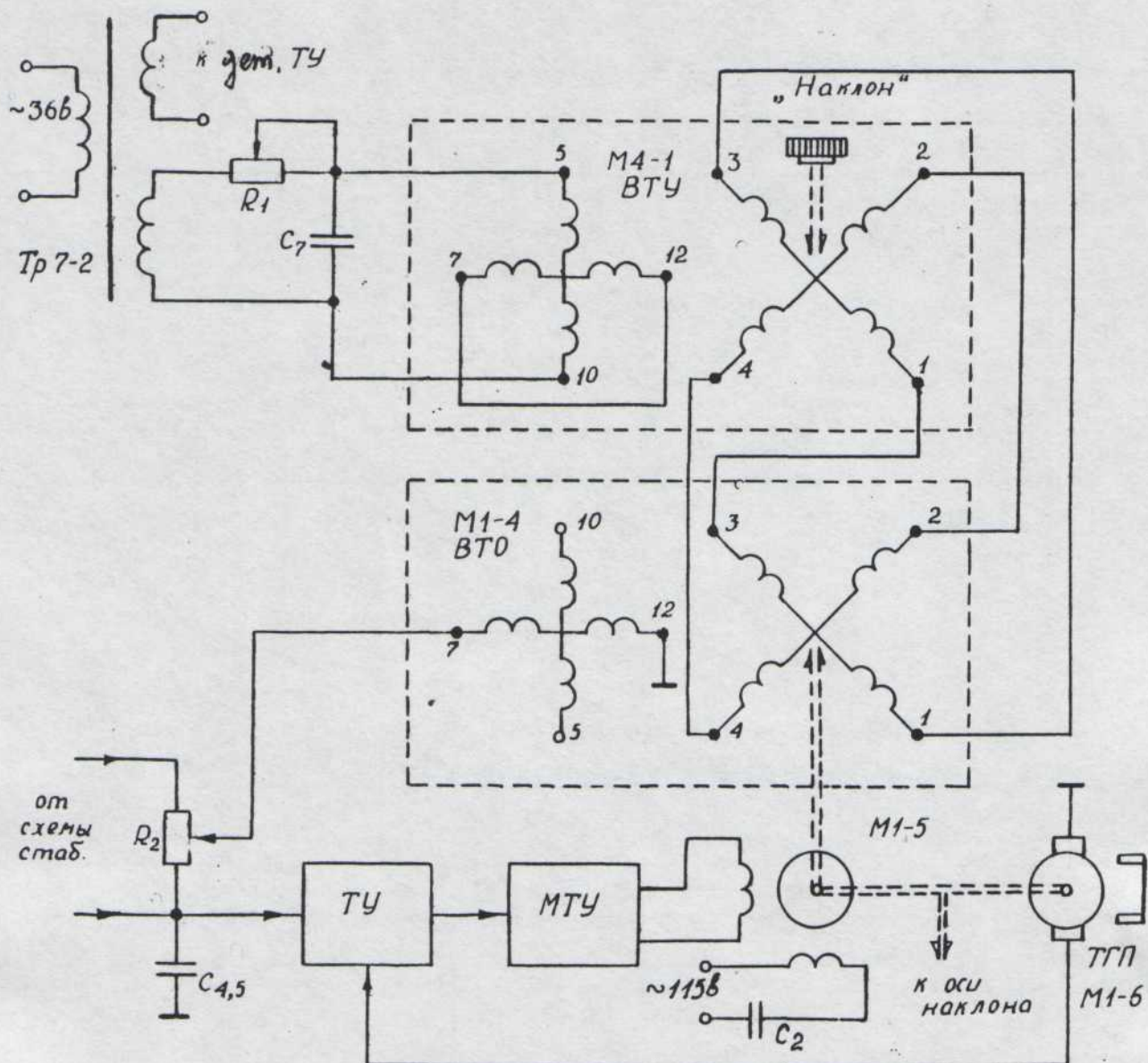


Рис. 7.3. Схема управления наклоном.

Исходный режим. В исходном режиме обмотки ротора ВТУ расположены под углом 45° к оси обмотки статора. Магнитный поток обмотки статора вызывает одинаковые э.д.с. в обмотках 3-1 и 2-4 ротора. Под действием этих э.д.с. возникают токи I_{3-1} и I_{2-4} , которые замыкаются через обмотки ротора ВТО.

Токи I_{3-1} и I_{2-4} создают магнитные потоки Φ_{3-1} и Φ_{2-4} ротора ВТУ и магнитные потоки Φ'_{3-1} и Φ'_{2-4} ротора ВТО.

Магнитные потоки Φ_{3-1} и Φ_{2-4} складываются, и возникает результирующий магнитный поток $\Phi_{рез.}$ ротора ВТУ (рис. 7.4а).

Магнитные потоки Φ'_{3-1} и Φ'_{2-4} также складываются, образуют результирующий магнитный поток $\Phi'_{рез.}$ ротора ВТО, который пронизывает статорную обмотку ВТО, но э.д.с. не возникает, так как поток $\Phi'_{рез.}$ перпендикулярен ее оси. Следовательно, на входах ТУ и МТУ напряжение отсутствует, и ток через обмотку управления двигателя наклона не проходит.

Динамика. При повороте рукоятки наклона на угол θ по часовой стрелке поворачиваются

обмотки ротора ВТУ, что должно было бы вызвать поворот вектора $\Phi_{рез}$ на такой же угол в том же направлении (рис. 7.4б), но этого не происходит, так как одновременно изменяется соотношение токов I_{3-1} и I_{2-4} и связанных с ними магнитных потоков Φ_{3-1} и Φ_{2-4} , что вызывает поворот вектора $\Phi_{рез}$ на угол θ , но против часовой стрелки (рис. 7.4в).

Таким образом, при любом повороте ротора ВТУ вектор $\Phi_{рез}$ сохраняет свое первоначальное направление, совпадающее с осью статора (рис. 7.4г).

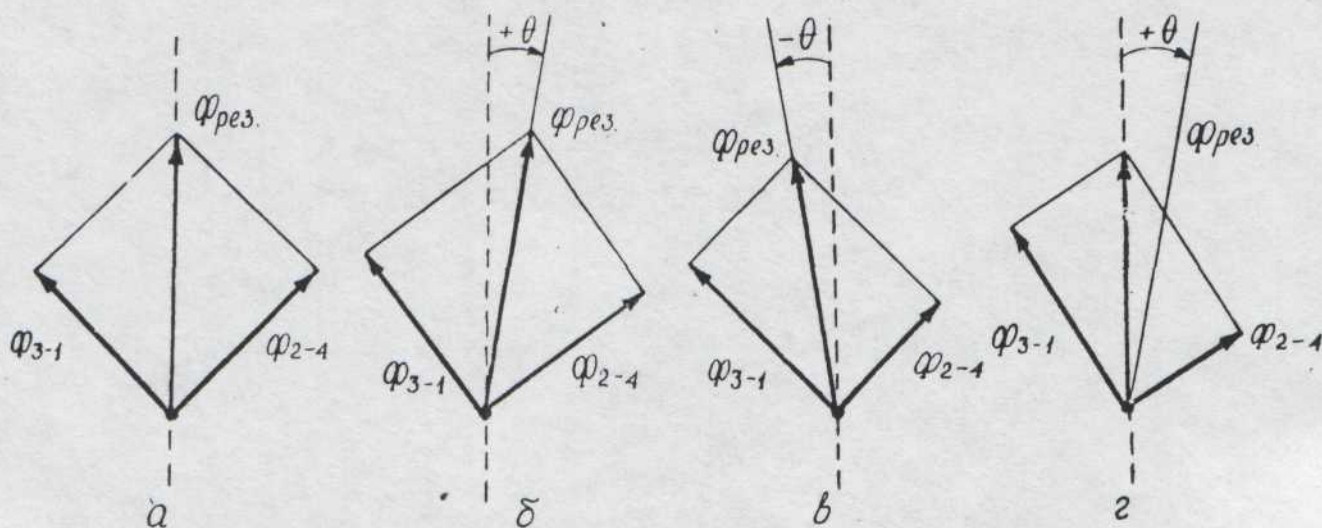


Рис. 7.4. Векторные диаграммы, поясняющие работу схемы управления наклоном.

Вследствие изменения токов I_{3-1} и I_{2-4} , соответственно изменяются магнитные потоки Φ'_{3-1} и Φ'_{2-4} обмоток ротора ВТО, что вызывает поворот вектора $\Phi'_{рез}$ на угол θ против часовой стрелки. Теперь в статорной обмотке будет возникать э.д.с., которая после усиления в ТУ и МТУ вызовет появление тока в обмотке управления двигателя наклона, и он будет поворачивать ротор ВТО по часовой стрелке до тех пор, пока вектор $\Phi'_{рез}$ не вернется в исходное состояние, т.е. снова будет перпендикулярен оси статорной обмотки ВТО.

§ 4. Схема стабилизации плоскости обзора

Как сказано выше, схема стабилизации плоскости обзора предназначена для обеспечения постоянства радиолокационного изображения при эволюциях самолета.

Особо важную роль играет эта схема при полетах в сложных условиях: во время маневрирования при обходе очагов гроз, горных вершин и т.д.

Для того, чтобы представить себе работу схемы, предварительно необходимо выяснить, что нужно сделать для обеспечения постоянства плоскости обзора при тангаже самолета (без крена) и при крене самолета (без тангажа).

Предположим, что самолет совершает посадку. При этом продольная ось самолета наклоняется вниз на угол θ . На такой же угол наклоняется относительно горизонта отражатель. Чтобы обеспечить постоянство плоскости обзора, очевидно, необходимо отражатель наклонить вверх на угол стабилизации δ , равный θ , тогда его ось снова будет лежать, как и в горизонтальном полете, в плоскости горизонта. Однако сказанное справедливо только в случае, если угол поворота антенны в плоскости азимута χ равен нулю. При повороте антенны вправо или влево от продольной оси самолета на угол 90° , так как поперечная ось самолета никуда не наклонялась (угол крена $\gamma = 0$), отражатель окажется наклоненным вверх на угол δ , и изобра-

жение на экране значительно изменится или даже исчезнет. Чтобы ось отражателя при $\alpha = \pm 90^\circ$ лежала в плоскости горизонта, угол стабилизации δ должен стать равным нулю. Следовательно, для обеспечения стабилизации в плоскости тангажа при сканировании антенны угол стабилизации δ должен изменяться от $\delta = \theta$ при $\alpha = 0$ до $\delta = 0$ при $\alpha = \pm 90^\circ$. Вот это — первое важное положение, которое нужно усвоить, чтобы работа схемы стабилизации была понятна.

При крене самолета ($\theta = 0$) поперечная ось самолета и ось отражателя наклоняются вправо или влево. Если $\alpha = 0$, то так как угол крена мал, изображение на экране исказится незначительно вследствие того, что луч локатора довольно широк.

При крене вправо и при $\alpha = 90^\circ$ ось отражателя будет наклонена к земле, а при $\alpha = -90^\circ$ наклонена вверх на угол крена, что вызовет значительное искажение изображения.

Уменьшение искажений можно достигнуть двумя способами. Во-первых, можно разворачивать отражатель в сторону, противоположную крену, на угол крена (как сделано в РЛС "Эмблема"). Во-вторых, можно для компенсации крена при $\alpha = \pm 90^\circ$ наклонять отражатель на угол стабилизации δ , равный углу крена и, по мере уменьшения угла α , соответственно уменьшать угол δ , т.е. изменять его от $\delta = \theta$ при $\alpha = \pm 90^\circ$ до $\delta = 0^\circ$ при $\alpha = 0^\circ$.

Первый способ обеспечивает хорошую стабилизацию только при малых значениях α , требует значительного усложнения конструкции антенны, утяжеления ее и введения в волноводный тракт еще одного вращающегося сочленения.

Второй способ обеспечивает хорошую стабилизацию при значениях α , близких к $\pm 90^\circ$, не требует каких-либо конструктивных изменений в антенне и легко реализуется выбором соответствующей схемы стабилизации. Второй способ и используется в РЛС "Гроза".

Итак, в РЛС "Гроза" используется косвенный метод — стабилизация плоскости обзора при крене путем наклона отражателя на угол δ , который изменяется соответственно изменению углов θ и α . Это — второе положение, которое нужно понять и запомнить.

Угол стабилизации при крене и тангаже определяется с помощью уравнения:

$$\delta = \frac{1}{K} (\sin \theta \sin \alpha - \sin \theta \cos \alpha),$$

где δ — угол стабилизации;

θ — угол крена;

θ — угол тангажа;

α — угол поворота антенны в горизонтальной плоскости;

K — коэффициент оптической редукции ($K = \frac{\text{угол наклона луча}}{\text{угол наклона отражателя}} = 1,88$).

Как разобрано выше и подтверждено уравнением, текущий угол стабилизации δ является функцией трех углов (θ , θ и α).

Приведенное уравнение дает приближенное значение угла стабилизации в функции углов θ , θ и α , но степень аппроксимации для целей практики оказывается вполне достаточной.

Решение приведенного уравнения осуществляется с помощью решающего вращающегося трансформатора (ВТР) типа ЗВТ-2ТВ-2, находящегося в блоке ГРТУ (М1-2).

Принципиальная схема стабилизации приведена на рисунке 7.5. Сигналы крена и тангажа поступают в схему стабилизации от авиагоризонта типа АГБ-3К, имеющего сельсинный выход. Роторы сельсинов, связанные с соответствующими осями АГБ-3К, запитаны от источника ~ 36 в 400 гц.

Со статорных обмоток, соединенных "звездой", сигналы крена и тангажа передаются в блок ГРТС на переходные сельсин-трансформаторы типа ПСТ-265-1 (М7-1 и М7-2), с помощью которых осуществляется переход от сельсинной, трехфазной схемы к двухфазной схеме на вращающихся трансформаторах.

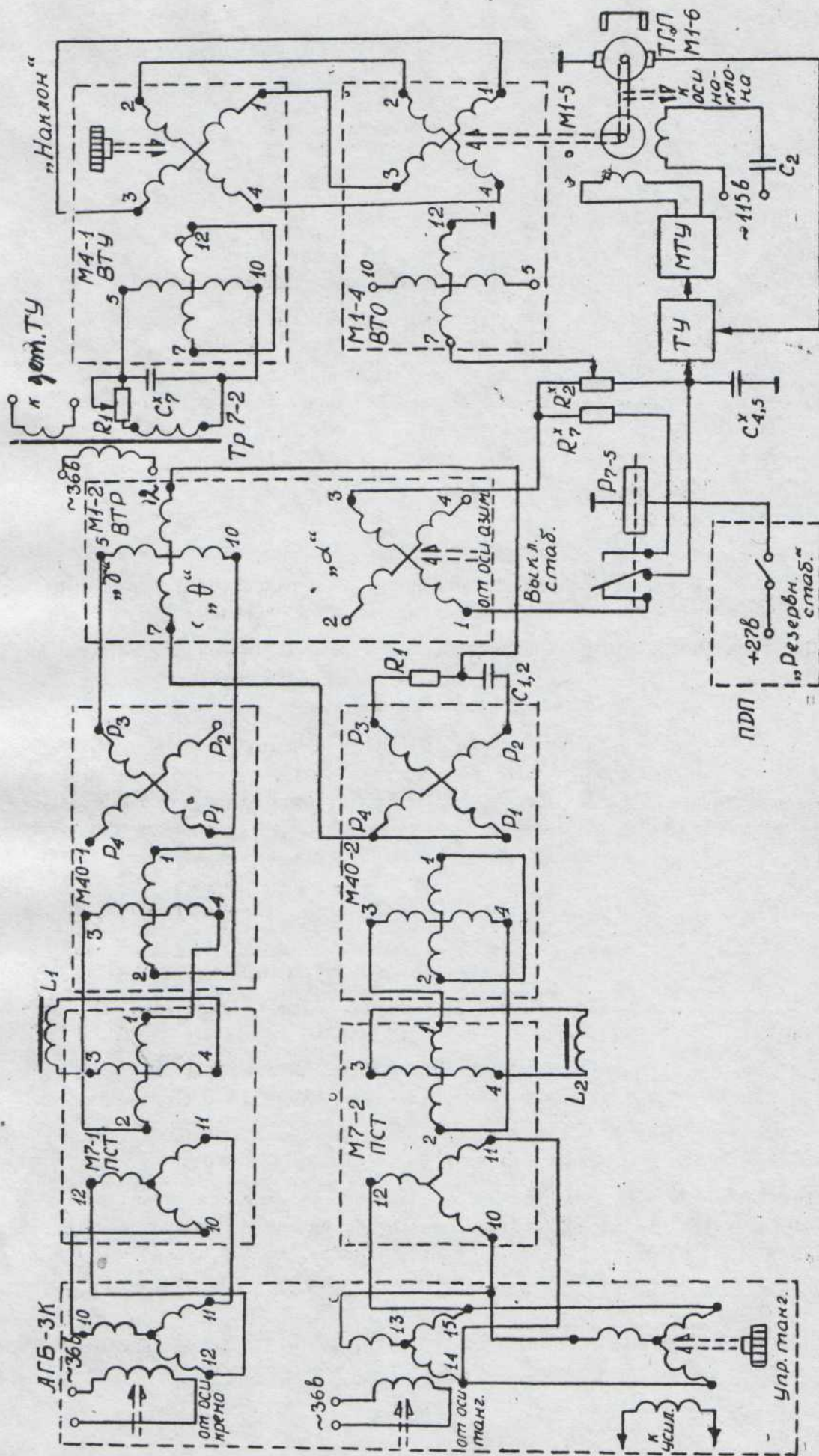


Рис. 7.5. Принципиальная схема стабилизации.

С обмоток 2-I (М7-I и М7-2) сигналы крена и тангажа передаются в коробку связи (ГР40) на статорные обмотки малогабаритных вращающихся трансформаторов типа 5МВТ-2-103 (М40-I, М40-2), которые предназначены для выбора необходимых масштабов напряжений. Выбор масштабов, т.е. их уравнивание осуществляется при регулировке путем поворота ротора, после чего ротор жестко фиксируется.

С помощью цепи R_1 , C_1 , C_2 осуществляется фазирование сигналов крена и тангажа, т.е. устраняется паразитный фазовый сдвиг, возникающий при передаче сигналов.

Уравнивание масштабов сигналов крена и тангажа и фазирование необходимы для обеспечения возможности сложения их в следующем элементе схемы - в ВТР.

Обмотки 3-4 (М7-I и М7-2) нагружены индуктивностями L_1 и L_2 , служащими для компенсации эффекта "реакция якоря". С той же целью обмотки I-2 (М40-I и М40-2) закорочены.

С обмотки Р1 - Р3 ротора М40-I сигнал крена и с обмоток Р1-3 и Р2-4 ротора М40-2 (через фазирующую цепь) сигнал тангажа подаются из коробки связи в блок ГР1У на статорные обмотки 5-10 (δ) и 7-12 (θ) ВТР, ротор которого соединен с осью азимута антенны.

В обмотке I-3 ротора ВТР возникает сигнал стабилизации, пропорциональный углу стабилизации δ , форма которого показана на эпюрах, приведенных на рисунке 7.6. При $\theta = 0$ угол стабилизации равен: $\delta = \frac{1}{K} \sin \gamma \sin \alpha$.

Функция синуса при переходе через ось абсцисс ($\alpha = 0$) меняет свой знак. Следовательно, и знак угла стабилизации также изменяется, что объясняется изменением фазы сигнала стабилизации.

В самом деле, при крене вправо ($+\delta$) и при повороте антенны вправо ($+\alpha$), чтобы компенсировать крен, нужно отражатель наклонить вверх ($+\delta$), а при повороте антенны влево ($-\alpha$), наоборот, нужно отражатель наклонить вниз ($-\delta$).

При $\gamma = 0$ угол стабилизации равен: $\delta = -\frac{1}{K} \sin \theta \cos \alpha$.

Функция косинуса при переходе через ось абсцисс (т.е. при переходе из первой четверти в четвертую) не меняет знака, следовательно, и знак угла δ при повороте антенны в пределах $\alpha = \pm 90^\circ$ остается неизменным, что и требуется в этом случае для стабилизации плоскости обзора.

Сигнал стабилизации с обмотки I-3 ротора ВТР через фазирующую цепь R_2, C_4, C_5 подается на вход ТУ, и мотор наклона (М1-5) начинает отрабатывать заданный угол стабилизации.

Следящим элементом схемы стабилизации, как и схемы управления наклоном, служит ВТО (М1-4), ротор которого связан с осью двигателя М1-5.

Как только ротор ВТО начинает поворачиваться, в статорной обмотке появляется э.д.с., фаза которой противоположна фазе сигнала стабилизации. Эта э.д.с. через потенциометр R_2 также поступает на вход ТУ. Когда угол δ будет отработан, амплитуда э.д.с. отработки станет равной амплитуде сигнала стабилизации, напряжение на входе ТУ исчезнет и двигатель наклона остановится.

Если с помощью ручного управления (ВТУ) задан угол наклона, то двигатель наклона остановится, когда будет отработан угол стабилизации плюс-минус угол наклона, т.е. с помощью ручного управления можно задавать плоскость стабилизации луча (вернее, коническую поверхность, которую образует луч во время обзора при наклоне антенны).

В полете при наличии крена или тангажа двигатель наклона работает непрерывно, наклоняя отражатель так, чтобы обеспечивалось постоянство плоскости обзора, и только в горизонтальном полете двигатель наклона останавливается.

Обратная связь по скорости, осуществляемая с помощью тахогенератора ТГН, обеспе-

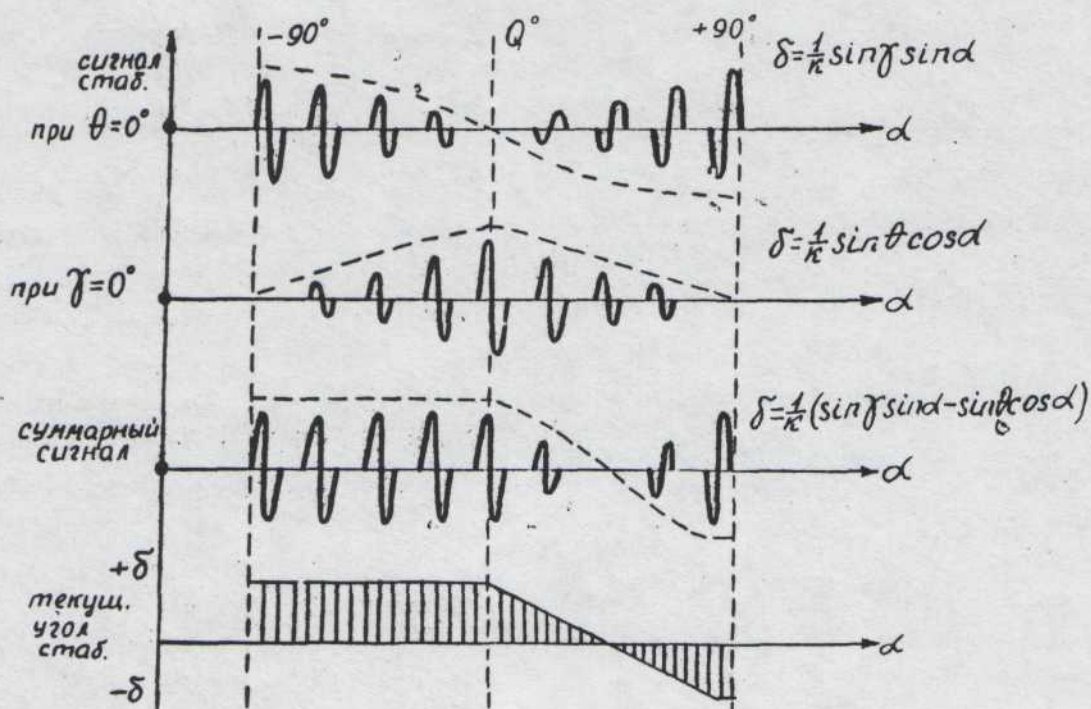


Рис. 7.6. Эпюры, поясняющие возникновение сигнала стабилизации при крене вправо и тангаже вниз ($+\gamma, -\theta$).

чивает равномерную работу системы (без рывков) и исключает автоколебания отражателя в вертикальной плоскости относительно линии нулевого или заданного наклона.

Схемой предусмотрена возможность выключения схемы стабилизации, что необходимо, например, при неполадках в АГБ-3К или в самой схеме стабилизации. Выключение схемы стабилизации осуществляется с помощью реле Р7-5, которое отключает ротор ВТР от цепочки R_2, C_4, C_5 и вместо него подключает резистор R_7 , имеющий эквивалентное сопротивление. Работа схемы наклона при выключенной стабилизации не нарушается.

Реле Р7-5 управляется тумблером, установленным на приборной доске самолета и имеющим надпись "Резервн. стаб.".

§ 5. Транзисторный усилитель (ТУ)

Предназначается для выполнения следующих функций:

- для усиления сигнала стабилизации и наклона до уровня, необходимого для нормальной работы магнитно-тиристорного усилителя;
- для переноса огибающей сигнала стабилизации и наклона с несущей частоты 400 гц источника 36 в на несущую частоту 400 гц источника И15 в.

Обмотка возбуждения двигателя наклона питается от источника И15 в 400 гц. Следовательно, и на обмотку управления нужно подавать напряжение с частотой источника И15 в с фазовым сдвигом 90° .

Слесьсинная система АГБ-3К и схема управления наклоном питаются от источников 36 в 400гц. Частоты источников И15 в и 36 в не равны, поэтому при питании обмоток возбуждения и управления от разных источников невозможно получить равномерно вращающееся магнитное поле (будут возникать биения).

Функциональная схема ТУ приведена на рисунке 7.7. На вход усилителя подается суммарный сигнал стабилизации и наклона, представляющий собой напряжение частоты 400 гц (источника 36 в), промодулированного по амплитуде по закону: $\delta = \frac{1}{\pi} (\sin \delta \sin \alpha - \sin \theta \cos \alpha)$.

Этот сигнал через двусторонний ограничитель (Д1, Д2), служащий для исключения перегрузок в оконечных каскадах, подается на первую ступень усиления, состоящую из усилителя (ПП1) и эмиттерного повторителя (ПП2), и далее поступает на фазовый (синхронный) детектор (ПП3, ПП4).

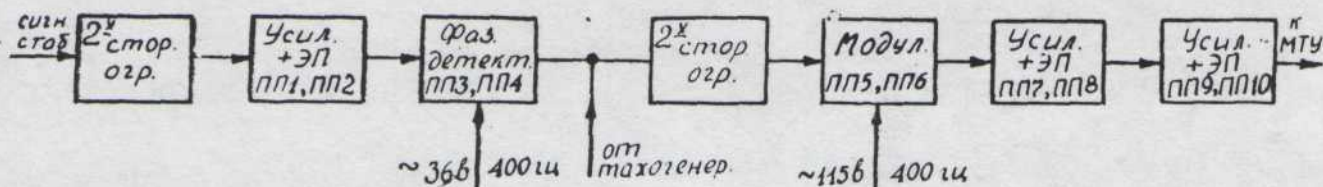


Рис. 7.7. Функциональная схема транзисторного усилителя (ТУ).

Фазовый детектор выделяет огибающую суммарного сигнала стабилизации и наклона, мгновенное значение которой определяет величину текущего угла стабилизации δ .

Кроме выделения огибающей, фазовый детектор подавляет квадратурную погрешность, присущую вращающимся трансформаторам. Из напряжения, выделенного фазовым детектором, вычитается напряжение обратной связи, поступающее от тахогенератора, и разностное напряжение через двусторонний ограничитель (Д5, Д6) подается на модулятор (ПП5, ПП6).

На модулятор также подается напряжение с частотой 400 гц от источника И15 в, которое модулируется по закону огибающей, выделенной фазовым детектором (с учетом обратной связи). Таким образом, на выходе модулятора появляется напряжение с частотой 400 гц (источника И15в), промодулированное по амплитуде по закону изменения угла δ .

Это напряжение усиливается двухкаскадным усилителем (ПП7, ПП8 и ПП9, ПП10), каждый из которых состоит из собственно усилителя и ЭП, и далее поступает на вход магнитно-тиристорного усилителя (МТУ).

Принципиальная схема ТУ приведена на рисунке 7.8. Питается ТУ от источника -25 в через стабилизатор напряжения R_1 , Д3, Д4. Выходное напряжение стабилизатора -16 в.

Двусторонний ограничитель (Д1, Д2), так же, как и стабилизатор напряжения, выполнен на стабилитронах Д8И4А, падение напряжения на которых в прямом направлении равняется 0,7 в.

Это напряжение и определяет уровень ограничения двустороннего ограничителя.

В анализируемой схеме интерес представляют только фазовый детектор и модулятор, которые рассматриваются ниже.

Фазовый детектор выделяет огибающую суммарного сигнала стабилизации и наклона и подавляет напряжение квадратурной ошибки. Квадратурной называется специфическая ошибка вращающихся трансформаторов, имеющих две статорные, накрест расположенные, обмотки. Дело в том, что невозможно выполнить ВТ так, чтобы в роторе, расположенном перпендикулярно одной из катушек статора, не возникала э.д.с. под действием магнитного поля этой катушки. Э.д.с., возникающая в роторе в этом случае (сдвинутая по фазе относительно основной э.д.с. на 90°), и вызывает квадратурную ошибку.

Фазовый детектор собран на двух транзисторах ПП3, ПП4 (МП103А, $n-p-n$). Опорное напряжение подается синфазно к промежутку коллектор-база обоих транзисторов через фазосдвигающую цепочку C_9, R_{39} . Оно возникает во вторичной обмотке трансформатора Тр2, расположенного в блоке ГР7С, под действием источника 36 в. Трансформатор Тр2 подключен к тем же фазам источ-

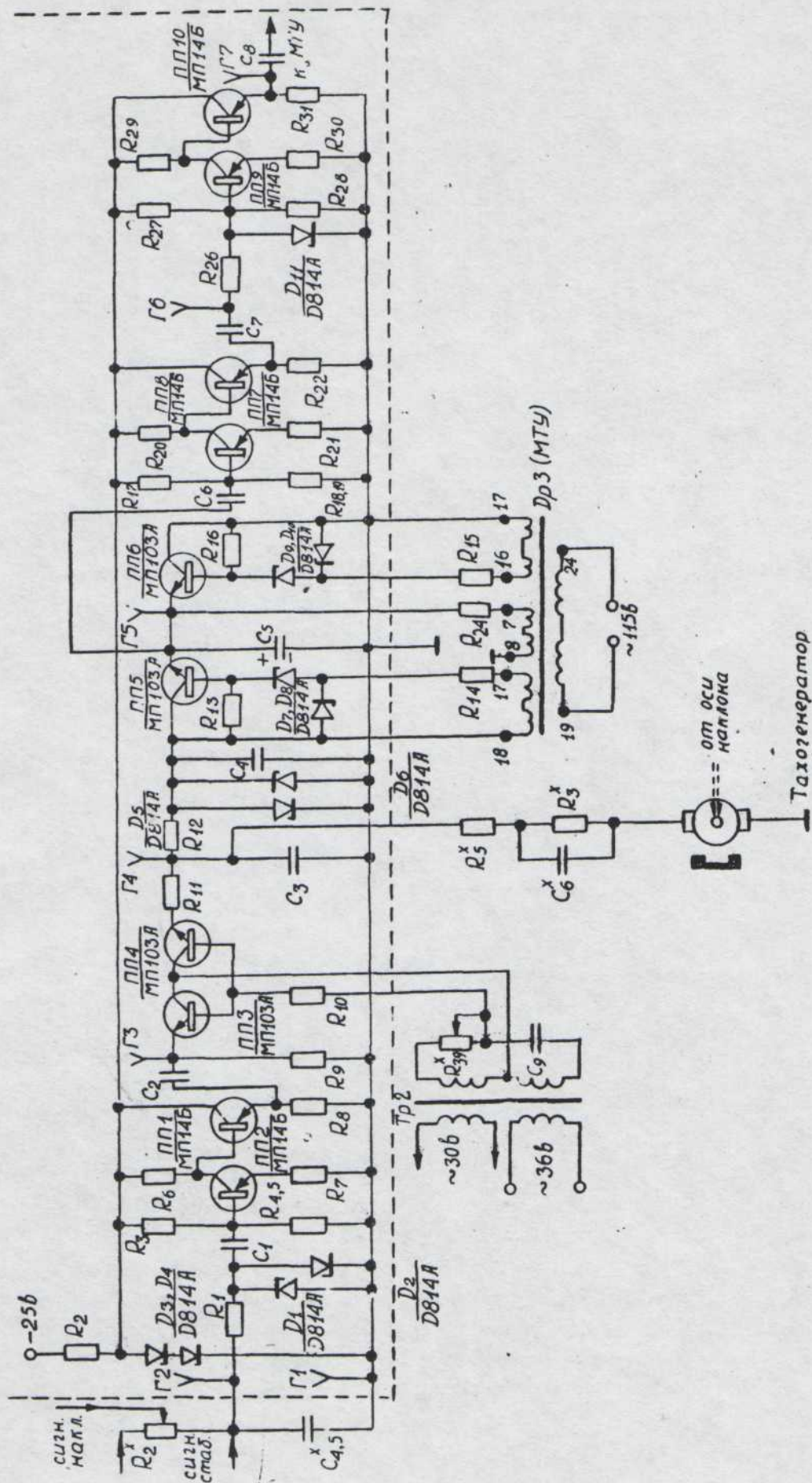


Рис. 7.8. Принципиальная схема транзисторного усилителя (ТУ).

ника, к которым присоединены сельсины АГБ-ЗК. Схема управления наклоном питается от отдельной обмотки этого же трансформатора.

Транзисторные схемы, в которых управляющее напряжение подводится к промежутку коллектор-база (а не эмиттер-база), называются инверсными схемами. На рисунке 7.9 приведена выборочная схема фазового детектора. Нагрузкой его служит двусторонний ограничитель (R_{12} , Д5, Д6) на входе модулятора, включенный через фильтр R_{11} , С3.

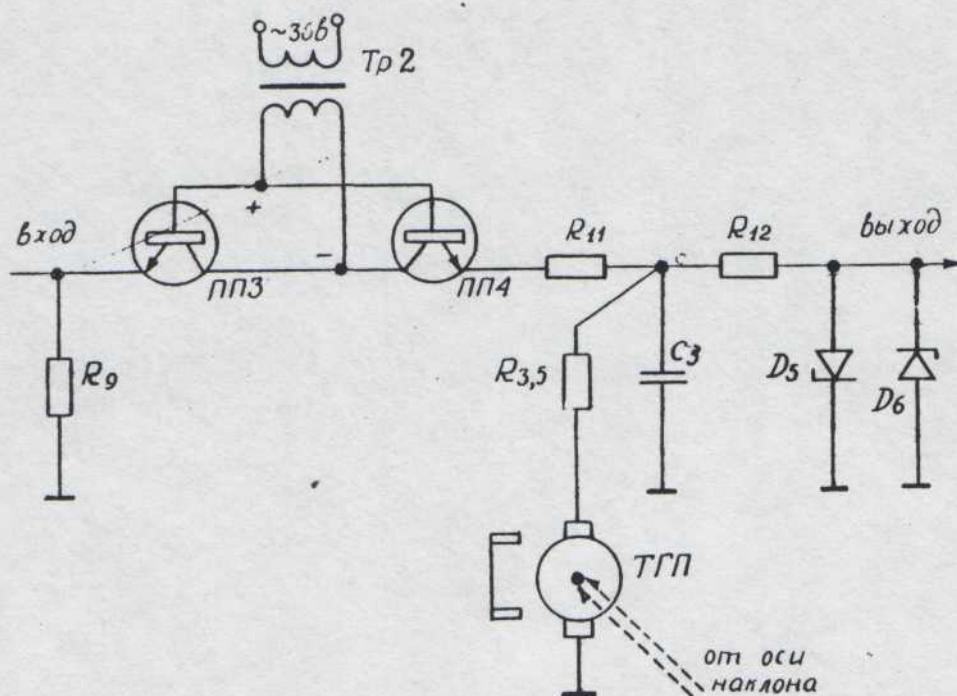


Рис. 7.9. Выборочная схема фазового детектора.

В те полупериоды опорного напряжения, когда на базах транзисторов существует положительное напряжение относительно коллекторов, проходное сопротивление обоих транзисторов резко уменьшается. Под действием входного сигнала, возникающего на резисторе R_9 , появляется ток, который проходит по цепи: резистор R_9 (принимаем его за источник входного сигнала), проходные сопротивления транзисторов ПП3, ПП4, резисторы R_{11} , R_{12} , диод Д5, корпус, резистор R_9 . Или, при другой полярности входного напряжения, в обратном направлении, — через диод Д6.

Во вторые полупериоды, когда на базах транзисторов существует отрицательное напряжение относительно коллекторов, транзисторы глубоко закрываются, и ток не проходит. Однако на выходе детектора напряжение продолжает существовать за счет большой постоянной времени цепи разряда конденсатора С3.

Выбранная схема требует синфазности опорного напряжения с входным, что достигается с помощью цепи С3, R39. Основное ее свойство заключается в том, что проходное сопротивление двух транзисторов оказывается одинаковым для входных сигналов положительной и отрицательной полярности.

На рисунке 7.10 приведены эпюры, поясняющие работу фазового детектора. На верхней строчке показано входное напряжение, представляющее собой переменное напряжение с частотой 400 гц, промодулированное по амплитуде по закону изменения углов стабилизации и наклона. Для примера взят случай, когда углы тангажа и наклона равны нулю. Существует только крен.

На второй строчке показано опорное напряжение, а на третьей строчке — результат детектирования.

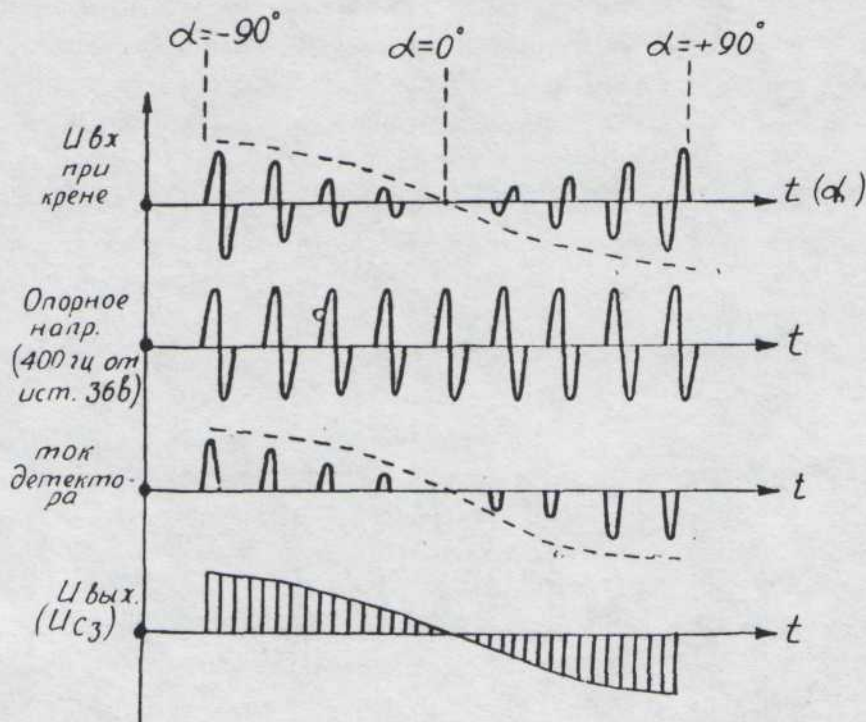


Рис. 7.10. Эпюры, поясняющую работу фазового детектора.

На конденсатор СЗ подается постоянное напряжение от тахогенератора, пропорциональное скорости вращения якоря двигателя наклона. Это напряжение имеет противоположную полярность по сравнению с напряжением, существующим на конденсаторе С3, следовательно, оно уменьшает напряжение на конденсаторе, чем обеспечивается равномерность работы двигателя наклона, исключаются рывки и автоколебания относительно оси излучателя.

С помощью элементов R_3 , R_5 , С6 выбирается нужная величина противодействующего напряжения, т.е. глубина отрицательной обратной связи по скорости.

Модулятор. В модуляторе, как сказано выше, напряжение с частотой 400 гц (источника И15в) модулируется по амплитуде тем напряжением, которое выделяет фазовый детектор, т.е. напряжением, пропорциональным текущему углу стабилизации и наклона.

Это напряжение возникает на диодах Д5, Д6 двустороннего ограничителя и представляет собой медленно изменяющееся переменное напряжение. Скорость его изменения равняется скорости сканирования антенны (один период — около 3 сек., частота — 0,34 гц).

Модулятор собран на двух транзисторах ПП5 и ПП6 (МП103А, $n-p-n$), которые так же, как транзисторы фазового детектора, включены по инверсной схеме.

Транзистор ПП5 является зарядным, через него проходит ток заряда конденсатора С5. Тран-

Рисунок 7.11 поясняет физику подавления квадратурной ошибки. На нем в крупном масштабе показаны токи, проходящие через конденсатор фильтра С3.

Кривая 1 представляет собой полезный ток фазового детектора, заряжающий конденсатор С3, напряжение с которого поступает на двусторонний ограничитель R_{12} , Д5, Д6.

Кривая 2 представляет собой ток, возникающий под действием э.д.с. квадратурной ошибки (характерен фазовый сдвиг на 90°). Среднее значение этого тока за полупериод равно нулю, следовательно, он не может изменить напряжение на конденсаторе С3, определяющее выходное напряжение

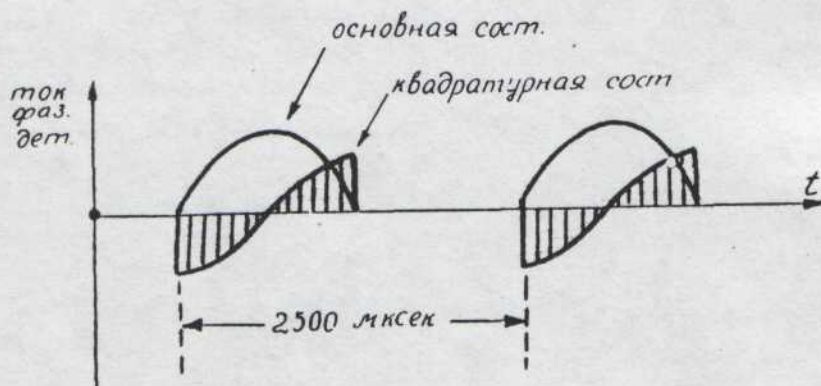


Рис. 7.11. К вопросу о подавлении квадратурной составляющей.

эмиттер транзистора ПП6 является разрядным, через него происходит разряд конденсатора С5.

Модулятор работает в ключевом режиме, поэтому выходное напряжение модулятора, возникающее на резисторах $R_{18}, 19$, представляет собой меандр.

Упрощенная схема модулятора приведена на рисунке 7.12. На ней не показаны элементы защиты базовых цепей транзисторов ПП5, ПП6 и цепь связи с МТУ.

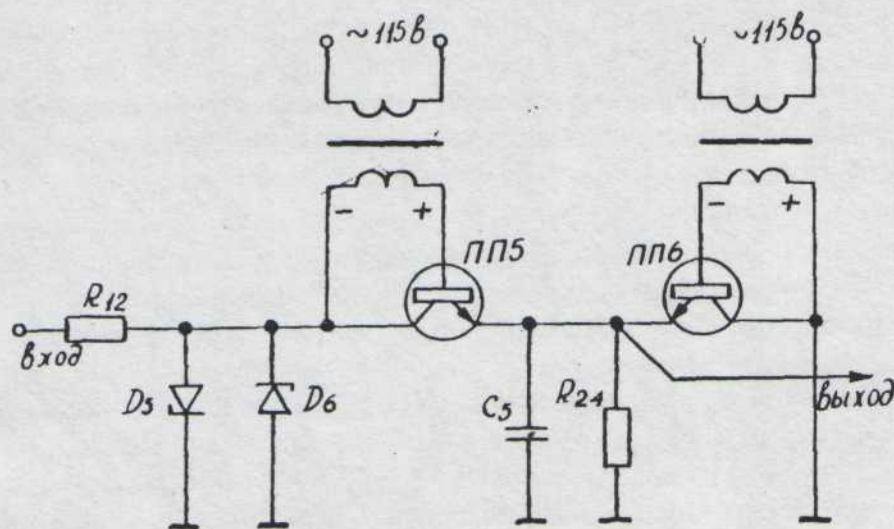


Рис. 7.12.

Или, при другой полярности модулирующего напряжения, — в обратном направлении. Во время заряда конденсатора С5 на резисторах $R_{18}, 19$ (рис. 7.8) возникает импульс прямоугольной формы той или другой полярности.

Во второй полупериод транзистор ПП5 закрывается, и ток заряда прекращается. Одновременно транзистор ПП6 открывается, и конденсатор С5 разряжается через его проходное сопротивление.

На рисунке 7.13 приведены эпюры, поясняющие работу модулятора. На верхней строчке показано медленно изменяющееся модулирующее напряжение. На средней строчке показано модулируемое напряжение (400 Гц), под действием которого открываются и закрываются транзисторы ПП5, ПП6. На нижней строчке показано выходное напряжение модулятора, возникающее на резисторах $R_{18}, 19$. Это напряжение усиливается двухкаскадным усилителем (ПП7, ПП8 и ПП9, ПП10) и подается на вход МТУ.

Чтобы обеспечить мгновенный переход транзисторов ПП5 и ПП6 из закрытого состояния в открытое и обратно, а также для защиты транзисторов от пробоя, применены цепи Д7, Д8, R_{13}, R_{14} и Д9, Д10, R_{15}, R_{16} .

К промежутку база-коллектор транзисторов ПП5, ПП6 подводятся переменные противофазные напряжения с частотой 400 Гц от трансформатора Др3 в схеме МТУ, на первичную обмотку которого подается напряжение от источника 115 В.

Под действием этих напряжений транзисторы открываются поочередно. В один полупериод открыт транзистор ПП5, и через него возникает ток заряда конденсатора С5. Он проходит по цепи: диоды Д5, Д6 (принимаем их за источник модулирующего напряжения), проходное сопротивление транзистора ПП5, конденсатор С5, корпус, диоды Д5, Д6.

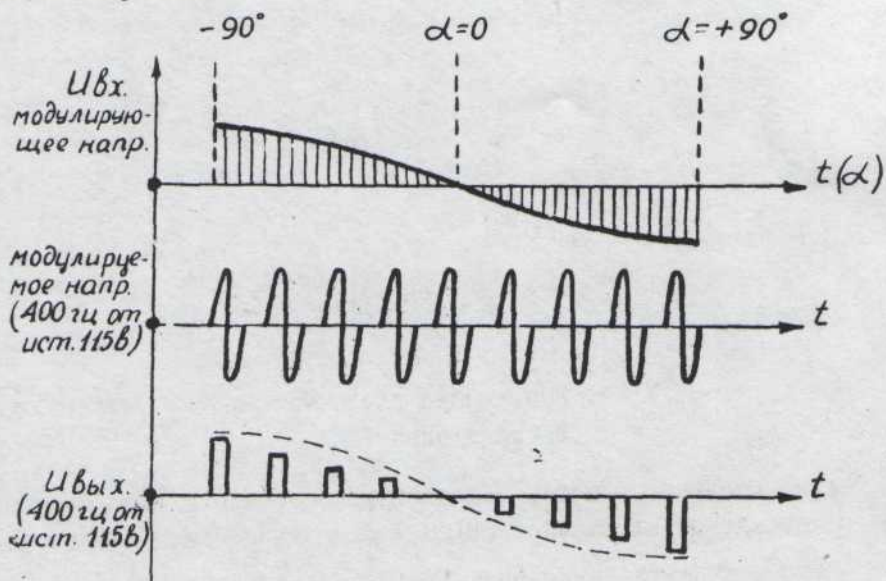


Рис. 7.13. Эпюры, поясняющие работу модулятора (ТУ).

§ 6. Магнитно-тиристорный усилитель (МТУ)

Предназначается для усиления мощности сигнала стабилизации и наклона до уровня, достаточного для управления двигателем наклона.

Содержит два каскада: первый каскад представляет собой предварительный магнитный усилитель (МУ), формирующий импульсы для управления тиристорами, длительность которых пропорциональна амплитуде сигнала стабилизации и наклона. МУ работает совместно с транзисторным прерывателем (ППИ).

Второй каскад представляет собой тиристорный усилитель, питающий обмотку управления двигателя наклона.

Выборочная схема МУ приведена на рисунке 7.14. Он представляет собой однополупериодный реверсивный магнитный усилитель, собранный на двух дросселях Др1 и Др2 с тороидными сердечниками. На каждом сердечнике имеются четыре обмотки (расположенные по схеме слева направо): обмотка управления, питающая обмотка, обмотка смещения и выходная обмотка.

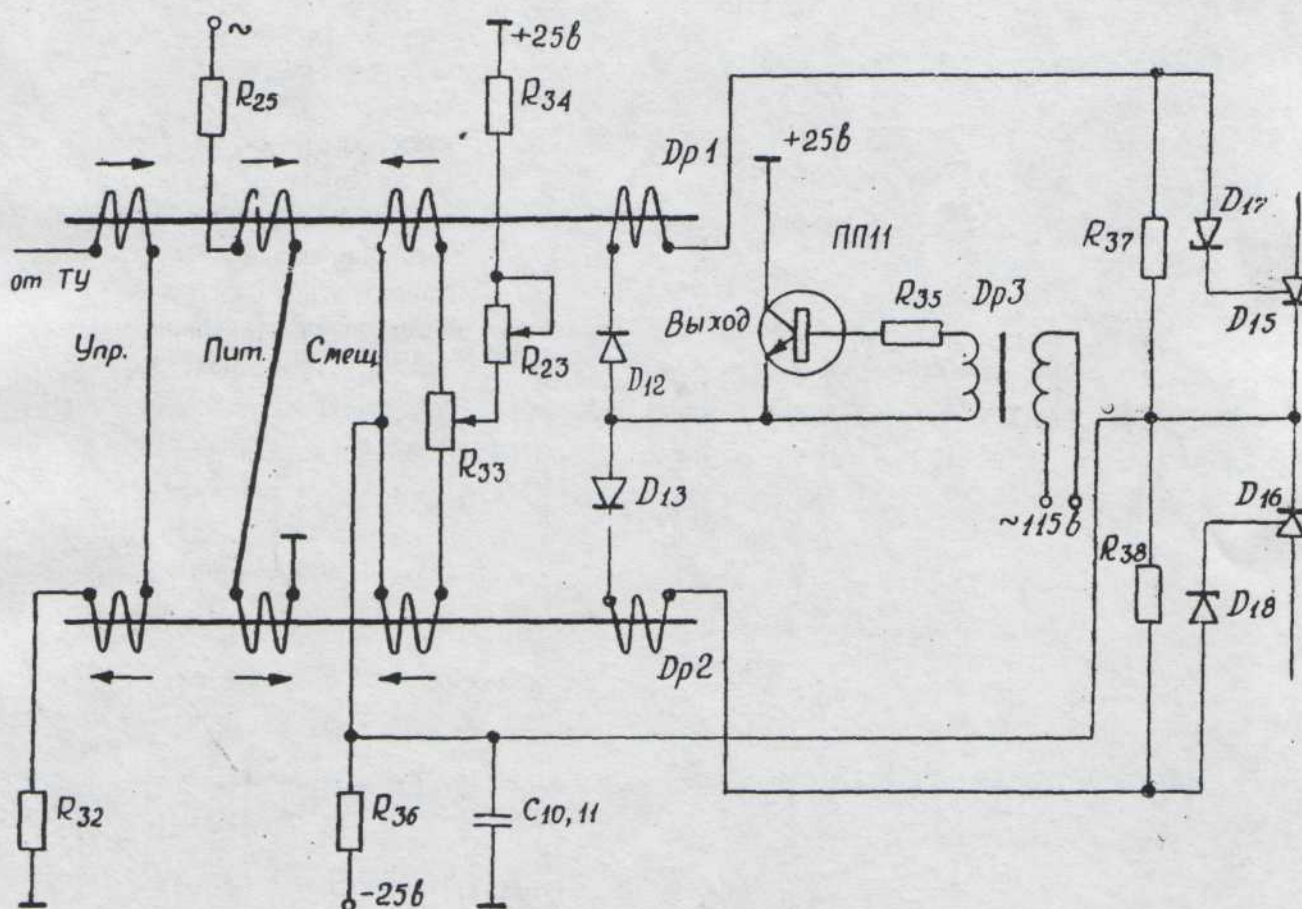


Рис. 7.14. Выборочная схема магнитного усилителя (МУ) с прерывателем (ППИ).

Через питающую обмотку проходит ток источника И5 в (через трансформатор Др3), намагничивающий сердечник дросселей Др1 и Др2 в одинаковом направлении.

На обмотку управления подается импульсное напряжение с выхода транзисторного усилителя.

Обмотки управления намотаны так, что ток, протекающий через них, один сердечник размагничивает, а другой — дополнительно намагничивает и переводит его в состояние магнитного насыщения.

Через обмотку смещения проходит ток источника -25 в. С помощью потенциометра R_{23} выбирается нужное положение рабочей точки на характеристике МУ, а с помощью потенциометра R_{33} достигается симметрия схемы.

Через выходные обмотки проходит ток эмиттера транзистора ПП11 (П307В, $n-p-n$), который питается от источника -25 в. К промежутку эмиттер-база транзистора ПП11 подводится напряжение от обмотки 9-10 трансформатора Др3 (с большой амплитудой), поэтому транзистор ПП11 работает в ключевом режиме — как прерыватель.

Ток коллектора транзистора ПП11 проходит по цепи: корпус ("плюс" источника -25 в), переход коллектор-эмиттер (ПП11), через диод и выходную обмотку того дросселя (Др1 или Др2), сердечник которого насыщен, диоды Д17 или Д18, тиристоры Д15 или Д16, резистор R_{36} , источник -25 в.

Ток коллектора транзистора ПП11, проходя через тот или другой тиристор (промежуток управляющий электрод-катод), переводит тиристор в состояние проводимости, т.е. открывает его.

Если сигнал на входе МУ отсутствует, то сердечники дросселей Др1 и Др2 находятся в ненамагниченном состоянии, индуктивности выходных обмоток велики, поэтому ток коллектора транзистора ПП11 мал и тиристоры находятся в закрытом состоянии.

Покажем, что время, в течение которого тиристор находится в открытом состоянии, зависит от амплитуды входных импульсов.

Предположим, что на вход МУ подаются импульсы с малой амплитудой (рис. 7.15а).

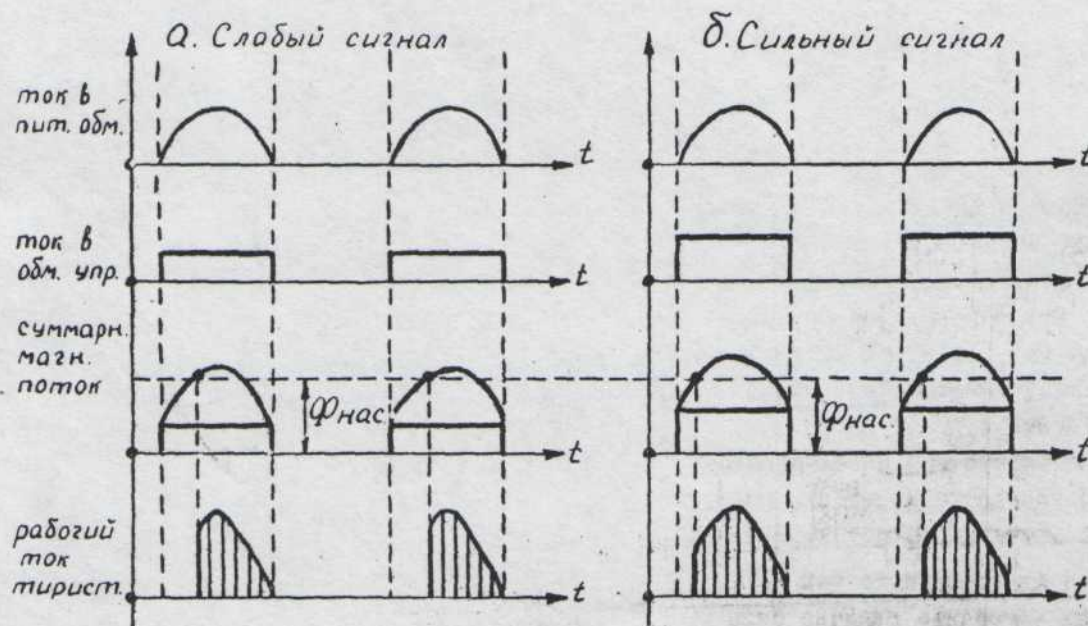


Рис. 7.15. Эпюры, поясняющие возникновение широтно-импульсной модуляции.

При этом суммарный магнитный поток обмоток дросселя Др1 (или Др2) достигнет значения, соответствующего насыщению сердечника примерно в середине полупериода питающего напряжения. В тот момент откроется один из тиристоров, и через обмотку управления двигателя наклона прой-

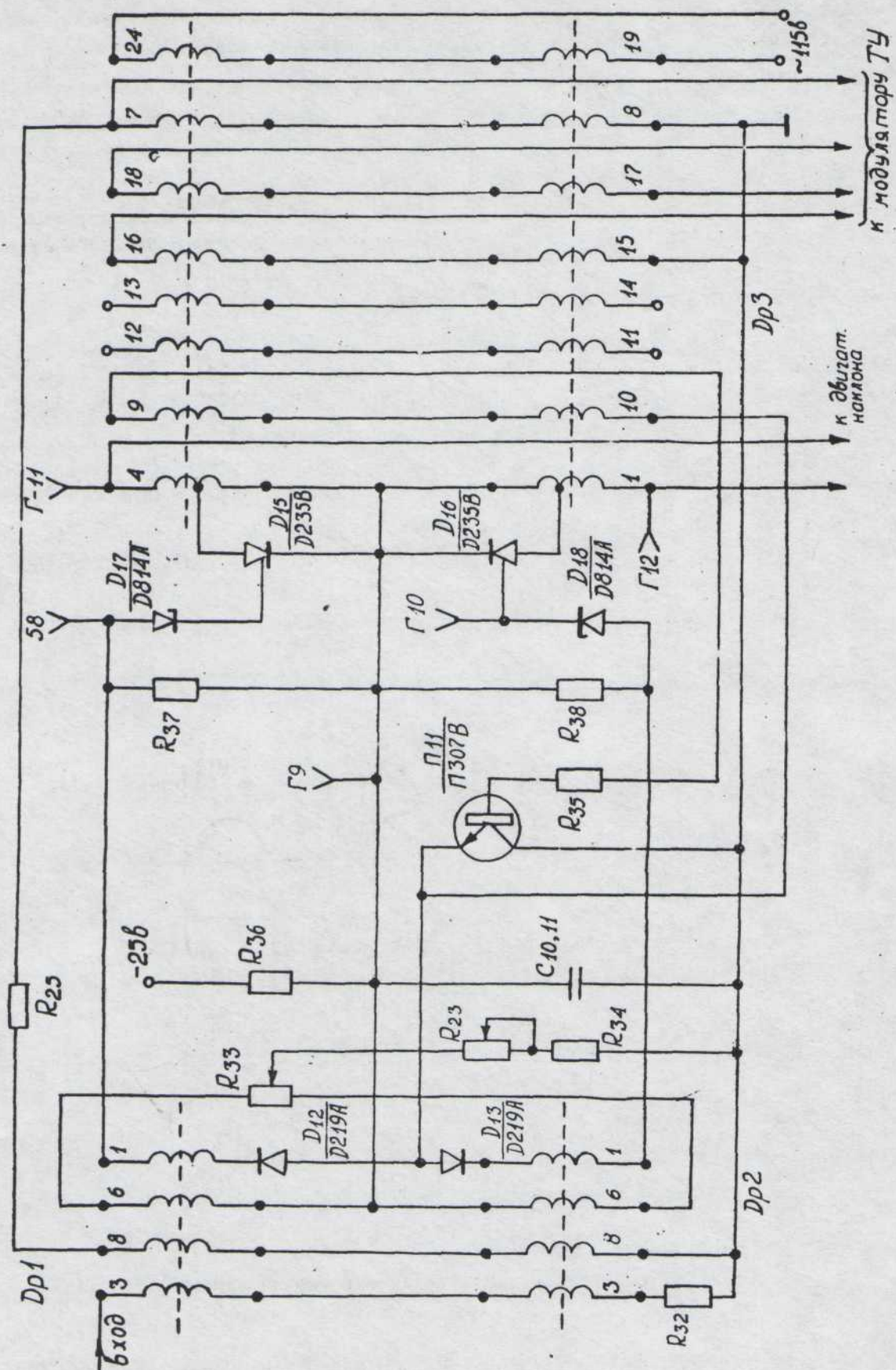


Рис. 7.16. Принципиальная схема магнитно-тиристорного усилителя (МТУ).

дет ток, форма которого показана на нижней строчке (рис. 7.15а).

Если на вход МУ поступит более сильный сигнал, т.е. импульс с большей амплитудой, то насыщение сердечника дросселя Др1 (Др2) произойдет раньше, и длительность импульса тока, проходящего через тиристор, а следовательно, и через обмотку управления двигателя наклона, соответственно увеличится (рис. 7.15б).

Таким образом, в МУ происходит широтно-импульсная модуляция, т.е. изменение амплитуды импульсов на входе МУ вызывает соответствующее изменение длительности импульсов на выходе.

На рисунке 7.16 приведена полная схема магнитно-тиристорного усилителя. Правая часть ее является схемой тиристорного усилителя. В нее входит: трансформатор Др3, имеющий два тороидных сердечника (в техническом описании он назван дросселем), тиристоры Д15, Д16 (Д235В), диоды Д17, Д18 (Д814А) и резисторы R_{37} , R_{38} .

На каждом сердечнике (Др3) имеются следующие обмотки, расположенные на схеме (рис. 7.16) слева направо:

- выходная обмотка;
- обмотка, управляющая транзистором ПП11;
- две обмотки, управляющие модулятором ТУ;
- обмотка питания МУ;
- сетевая обмотка, на которую подается напряжение источника ~ 115 в 400 гц.

Схема собственно тиристорного усилителя приведена на рисунке 7.17.

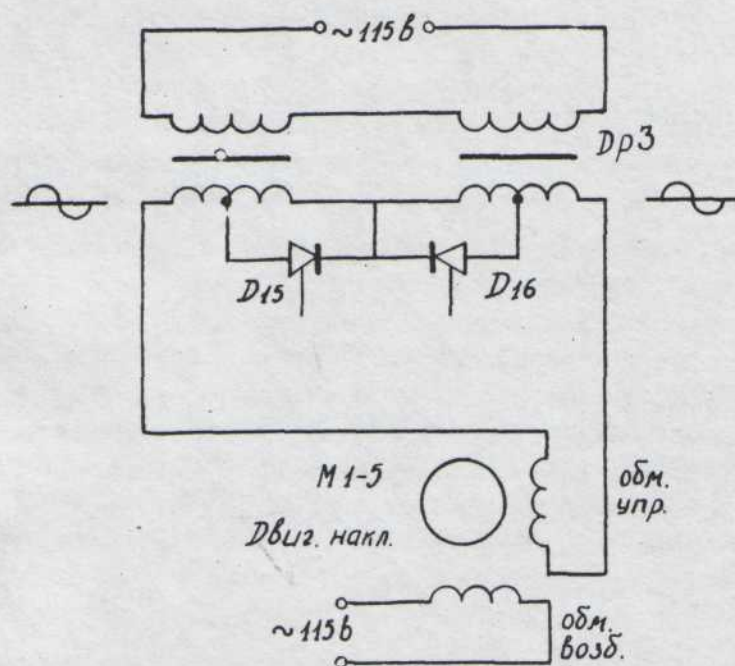


Рис. 7.17. Выборочная схема тиристорного усилителя.

Выходные обмотки (1-2, 3-4) включены встречно, поэтому в исходном режиме, т.е. при отсутствии сигнала на входе МУ (тиристоры закрыты), напряжение на обмотке управления двигателя наклона равно нулю.

Предположим, что при появлении на входе МУ сигнала с положительной полярностью открывается тиристор Д15. Он закорачивает часть витков обмотки 3-4 (Др3), поэтому общее напряжение на обмотках 3-4 и 1-2 не будет равно нулю, и через обмотку управления двигателя наклона пройдут импульсы тока, повторяющиеся с частотой 400 гц, длительность которых определит скорость вращения ротора двигателя.

При отрицательной полярности входного сигнала откроется тиристор Д16 и закоротит часть витков обмотки 1-2 (Др3), поэтому направление тока в об-

мотке управления двигателя наклона изменится на 180° , и ротор двигателя начнет вращаться в противоположную сторону.

Резисторы R_{37} , R_{38} имеют небольшое сопротивление (120 ом), они нужны, так как ток коллектора транзистора ПП11 больше тока диодов Д17, Д18 и управляющих электродов тиристоров.

Диоды Д12, Д13 обеспечивают развязку между выходными обмотками дросселей Др1 и Др2.

Диоды Д17, Д18 обеспечивают развязку между цепями управления тиристорами и обмотками 1-2 и 3-4 трансформатора Др3, которая в открытом состоянии одного из тириستоров оказывается недостаточной.

Глава 8. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ

Одним из важных достоинств РЛС "Гроза" является то, что она имеет минимум органов управления и не нуждается в каких-либо регулировках во время полета.

Все органы управления сосредоточены на передней панели блока ГР4В, общий вид которой приведен на рисунке 8.1.

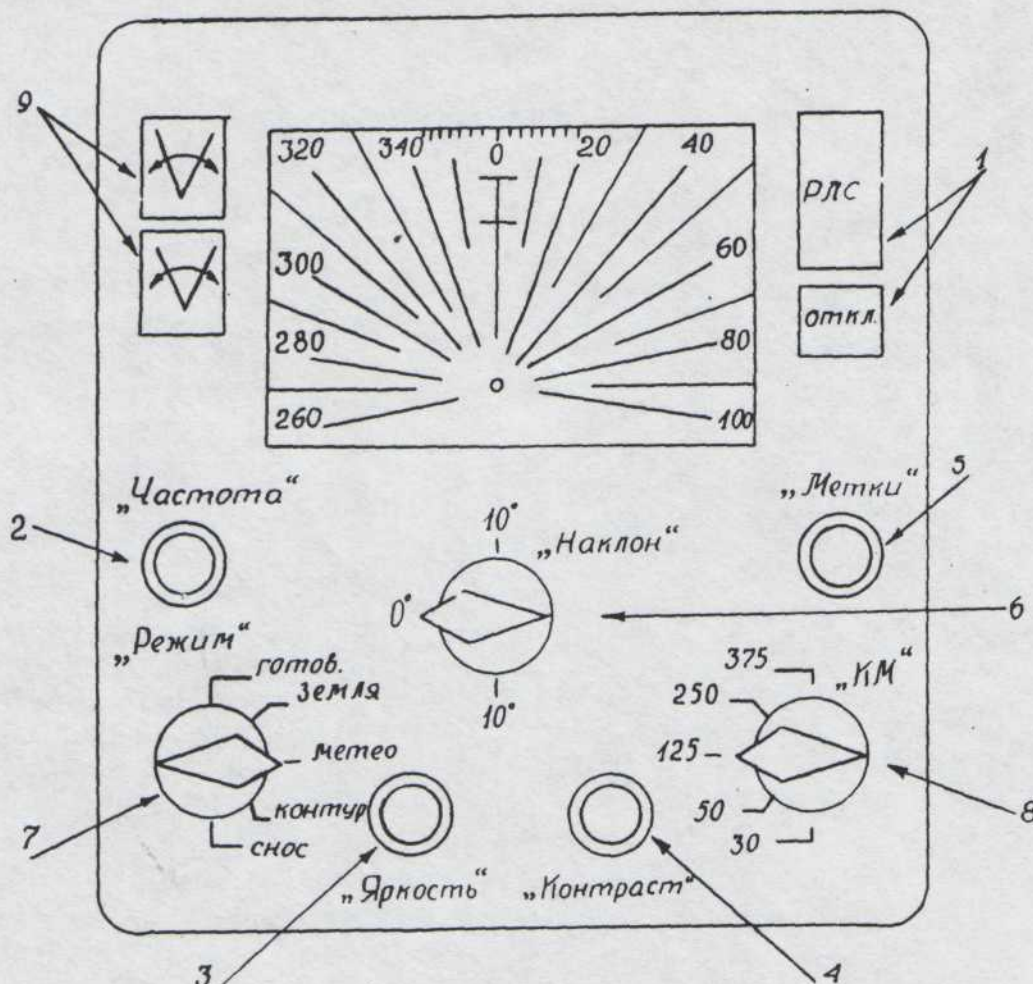


Рис. 8.1. Расположение органов управления на передней панели блока ГР4В.

Ниже перечисляются органы управления и дается краткая характеристика их функций. Порядковые номера соответствуют позициям на рисунке 8.1. В скобках указаны номера рисунков, на которых приведены схемы, связанные с рассматриваемым органом управления.

1. Клавиши "РЛС - откл." (В7). При нажатии клавиши "РЛС" напряжение +27 в подается на контактор в щитке электропитания. Контактор включается и остается включенным до нажатия клавиши "откл.". Он имеет четыре ножа (+27 в, $\sim$ 115 в 400 гц и две фазы $\sim$ 36 в 400 гц), через которые все исходные питающие напряжения подаются в схему РЛС. Перед нажатием клавиши

должен быть выключен АЭС "Вкл. РЛС" на щитке электропитания (рис. 2.1).

2. Потенциометр "Частота" (R_{1a}). Изменяет управляющее напряжение на замедляющей системе ЛОВ, вследствие чего изменяется частота колебаний ЛОВ. Он воздействует на исходное напряжение (+27 в), поступающее на стабилизатор напряжения регулирующей схемы (рис. 4.7). Регулировка производится до получения на экране наиболее четкого изображения. Далее за частотой ЛОВ "следит" система АПЧ.

3. Потенциометр "Яркость" (R_4). Изменяет сопротивление нагрузки в цепи коллектора смесителя (ПП3) в схеме ВУ. При регулировке равномерно изменяется яркость сигналов каналов "Фон" и "Выделение" и масштабных меток (рис. 3.23, 3.28, 3.29).

4. Рукоятка "Контраст" связана с двумя независимыми потенциометрами: в режиме "Земля" — с потенциометром "Контраст" (R_{5a}) в схеме ВУ и в режиме "Снос" — с потенциометром (R_{5b}), изменяющим скорость поворота антенны.

Потенциометр "Контраст" изменяет уровень ограничения "снизу" канала "Выделения" и позволяет выделить отметки ориентиров при разной их интенсивности (рис. 3.19, 3.23, 3.28).

В режиме "Снос" потенциометр R_{5b} изменяет величину тока, протекающего в обмотке управления двигателя азимута (рис. 7.2).

5. Потенциометр "Метки" (R_7). С помощью этого потенциометра вызываются на экран масштабные метки и выбирается их яркость. Он изменяет амплитуду импульсов меток, поступающих в коллекторную цепь смесителя (рис. 3.29).

6. Рукоятка "Наклон" соединена с осью ротора вращающегося трансформатора управления наклоном (ВТУ, М4-1). При повороте рукоятки в ту или другую сторону от исходного положения (0°) в статорной обмотке вращающегося трансформатора отработки (ВТО) возникает э.д.с., поступающая на вход усилителя схемы стабилизации и наклона, и двигатель наклона (М1-5) начинает отрабатывать заданный угол наклона. Шкала отградуирована в градусах наклона отражателя. Диаграмма направленности наклоняется на угол в K -раз больший угла наклона отражателя ($K=1,88$, рис. 7.3).

7. Переключатель "Режим" (В1). Состоит из двух плат, каждая плата имеет две независимые половины (левую и правую). Таким образом, при повороте переключателя происходит одновременно четыре переключения (рис. 8.2).

Плата В1а видоизменяет схему видеоусилителя (рис. 3.24, 3.26, 3.28).

Через правую часть платы В1б во всех режимах, кроме режима "Готовность", напряжение +27 в подается на исполнительное реле (Р2-2) в схеме включения (рис. 2.1), и передатчик вступает в работу (через четыре минуты после включения питания).

Через левую плату В1б напряжение +27 в подается:

- в режиме "Снос" — в схему ВУ для питания транзистора ПП2;
- через диоды Д10, Д23 в два адреса: через переключатель В2в на реле (Р2-4) выключения ВАРУ (схема ВАРУ включается только на масштабе 30 км) и через контакты реле Р7-2 и Р7-1 на обмотку реле Р1-1, коммутирующего диаграммы направленности антенны (рис. 7.1);
- в режиме "Контур" — в схему ВУ для питания транзистора ПП2 (рис. 3.23);
- в режиме "Метео" — в схему ВУ для питания транзистора ПП2 (рис. 3.23);
- через диод Д21 — на обмотку реле Р2-4 выключения ВАРУ. На всех масштабах ВАРУ не работает;
- в режиме "Земля" — через диод Д23 — в два адреса (так же, как и в режиме "Снос").

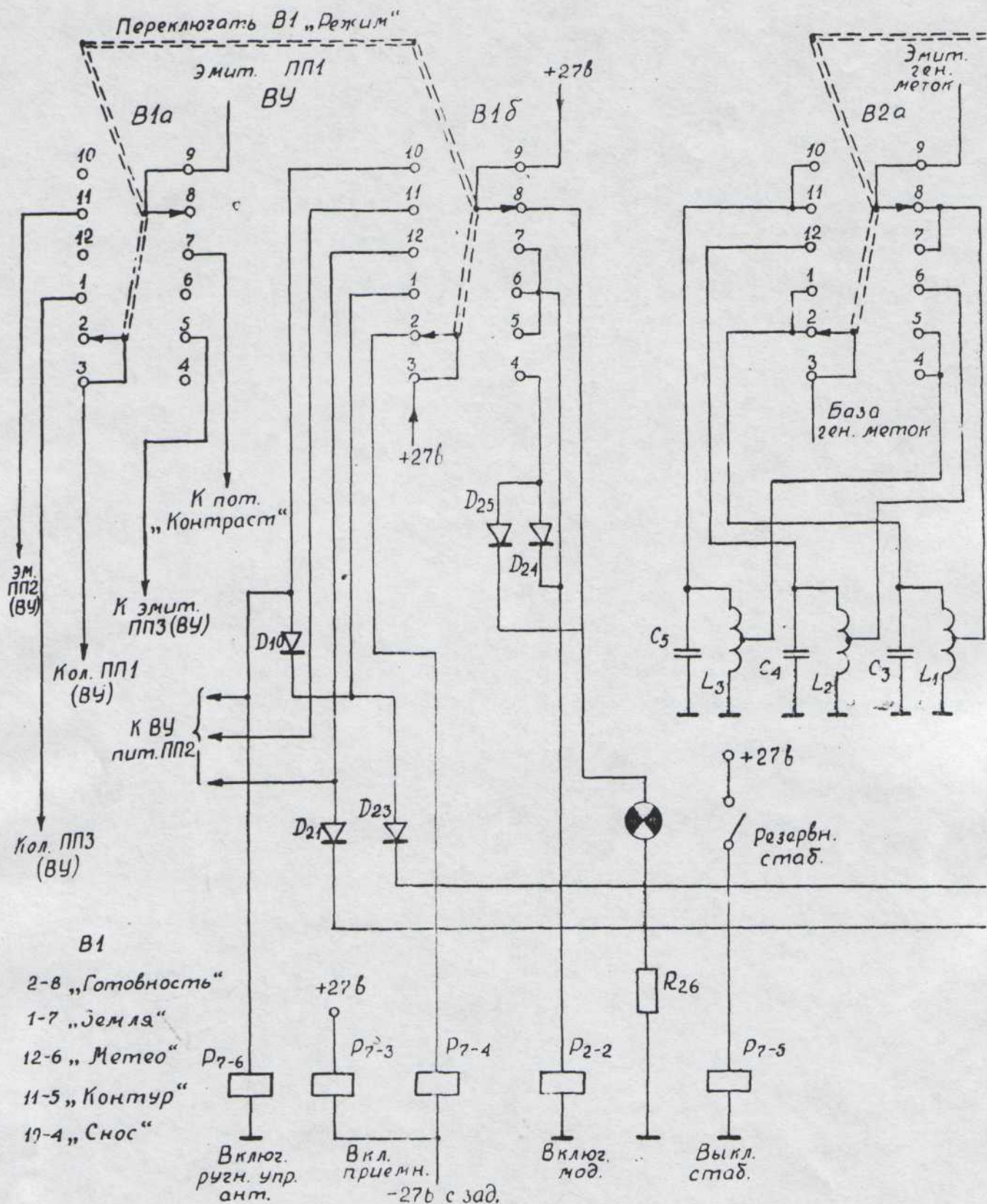
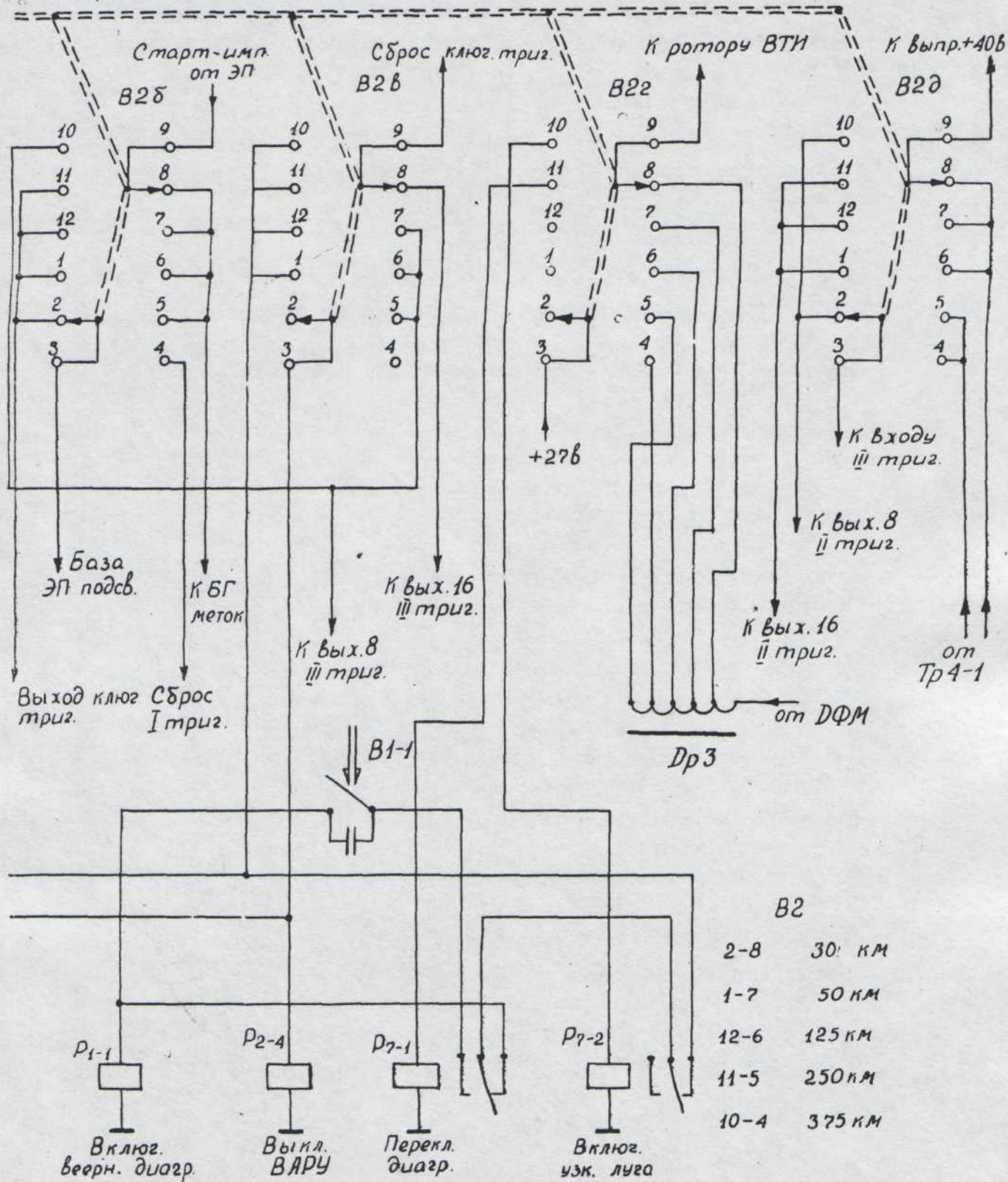


Рис. 8.2. Схема управления РЛС.

Переключатель В2 „КМ“ (масштабы)



8. Переключатель "Км" (В2). Состоит из пяти плат, каждая из которых имеет две независимые половины. Следовательно, при повороте переключателя одновременно происходит десять переключений (рис. 8.2).

Плата В2а переключает колебательные контуры в схеме генератора меток (рис. 5.4) соответственно нижеследующей таблице:

Масштабы, км	Контуры	Частота, кГц	Цена меток, км
30 и 50	L_1, C_3	15	10
125	L_2, C_4	6	25
250 и 200-375	L_3, C_5	3	50

Плата В2б (левая часть) подключает ко входу ЭП импульсов подсвета на масштабах 30, 50, 125 и 250 км выход ключевого триггера, а на масштабе 200-375 км - выход III триггера счетчика (рис. 5.II).

Плата В2б (правая часть) на масштабах 30, 50, 125 и 250 км подключает вторые входы блокинг-генератора меток и ключевого триггера к ЭП импульсов сброса, что дублирует цепи запуска с целью повышения надежности. На масштабе 200-375 км используется нечетное число меток, поэтому необходим сброс I триггера, для чего его вход I7 подключается к ЭП импульсов сброса (рис. 5.II).

Плата В2в (левая часть) управляет реле выключения ВАРУ. В режимах "Земля" и "Снос" схема ВАРУ включается только на масштабе 30 км (реле Р2-4 обесточено).

Плата В2в (правая часть) подключает выходы 8 или I6 III триггера к ключевому триггеру для его сброса. На масштабе 200-375 км сброс ключевого триггера происходит очередным старт-импульсом.

Плата В2г (левая часть). На масштабе 200-375 км срабатывает реле Р7-2 и во всех режимах используется узкая диаграмма направленности антенны. На масштабе 250 км срабатывает реле Р7-I и диаграммы направленности, узкая и веерная, используются поочередно.

Плата В2г (правая часть) переключает отводы масштабного дросселя Др3, вследствие чего изменяется скорость нарастания тока в роторе ВТИ, а следовательно, и в отклоняющих катушках (рис. 6.6). Чем мельче масштаб, тем большая индуктивность используется, тем меньше скорость нарастания тока.

Плата В2д (левая часть) коммутирует выходы 8 и I6 II триггера.

Плата В2д (правая часть) на масштабах 250 и 200-375 км увеличивает напряжение выпрямителя +40 в, питающего ключевые транзисторы канала развертки (рис. 3.3I).

9. Клавиши " " и " " (В8) в режиме "Снос" управляют поворотом антенны в плоскости азимута. Скорость поворота регулируется потенциометром R5б "Контраст" (рис. 7.2).

Глава 9. ПОРЯДОК ВКЛЮЧЕНИЯ И ЛАБОРАТОРНОЙ ПРОВЕРКИ

Для выполнения лабораторной проверки все блоки РЛС должны быть установлены на специальном лабораторном стенде с комплектом монтажных панелей (ГР33, ГР34) и соединительных кабелей.

Если в лаборатории отсутствует экранированный бокс для антенны, то к волноводному разъему блока ГР2Р вместо соединительного волновода (ГР32), идущего к антенне, должен быть присоединен антенный эквивалент типа Д5-9 из измерительного комплекта 52И-К4.

Наличие экранированного бокса (или при возможности выноса антенны за пределы лаборатории) позволяет произвести более полную проверку РЛС.

Сперва рассмотрим порядок включения и проверки РЛС (без блока контроля ГРП) при работе на антенный эквивалент. В этом случае радиолокационное изображение отсутствует, поэтому проверка оказывается неполной.

§ I. Порядок включения и лабораторной проверки при работе на антенный эквивалент

I. Перед включением органы управления должны быть установлены в следующие положения:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| - переключатель "Режим" | в положение "Готовность"; |
| - переключатель "Км" | в положение "50"; |
| - регулятор "Частота" - | в крайнее по часовой стрелке; |
| - регуляторы "Яркость" и "Метки" | в среднее положение; |
| - регулятор "Контраст" - | в крайнее против часовой стрелки; |
| - регулятор "Наклон" | в нулевое положение. |

ВНИМАНИЕ! Нахождение регулятора "Частота" в другом исходном состоянии может вызвать затруднения в получении радиолокационного изображения.

2. Включить питание лабораторного стенда, убедиться в наличии и в соответствии номиналам напряжений ~ 115 в, $\sim 3 \times 36$ в, +27 в.

3. Нажать до упора клавишу "РЛС", при этом должна загореться сигнальная лампочка и должно возникнуть сканирование антенны. Так как в режиме "Готовность" старт-импульсы не возникают (модулятор не работает), развертка и метки на экране отсутствуют.

Через 4 минуты после нажатия клавиши радиолокационная станция готова к работе и можно производить проверку работоспособности.

4. Переключатель "Режим" установить в положение "Земля". При этом включается передатчик, модулятор создает старт-импульсы, и на экране индикатора должны появиться масштабные метки в виде колец дальности. Если они отсутствуют, поворачивать регулятор "Яркость" по часовой стрелке до их появления. Если кольца дальности не появятся, вернуть регулятор "Яркость" в среднее положение и вызвать кольца дальности регулятором "Метки".

5. Поочередно устанавливая переключатель "Км" во все положения, убедиться в наличии колец дальности на всех масштабах и проверить их количество, которое должно быть следующим:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| - на масштабе "30" | - 3; |
| - на масштабах "50", "125" и "250" | - 5; |
| - на масштабе "375" | - не менее 3-х и не более 4-х. |

Кольца дальности должны иметь форму, близкую к полуокружностям, и расстояния между ними должны быть приблизительно одинаковыми. Разница в расстояниях между соседними кольцами не должна превышать 20%. Проверка расстояний между кольцами должна производиться на азимутальных углах 40° - 50° или 320° - 310° .

На азимутальной шкале 0° нанесены две горизонтальные черты, предназначенные для проверки развертки. На всех масштабах, кроме 200-375 км, последнее кольцо дальности не должно быть ниже верхней горизонтальной черты.

На масштабе 200-375 км четвертое кольцо может отсутствовать, а третье кольцо должно располагаться не ниже нижней горизонтальной черты.

6. Установить переключатель "Режим" в положение "Снос", при этом антенна должна остановиться. С помощью клавиши управления поворотом антенны (рис. 8.1, поз. 9) установить антенну на "нуль" азимутальной шкалы на блоке ГРІУ и убедиться, что линия развертки на экране индикатора совпадает с нулевой рисккой.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Поворачивать антенну от руки разрешается только держа ее за металлический подзеркальник. Следует помнить, что всякое прикосновение к отражателю приводит к изменению формы диаграммы направленности, что в условиях эксплуатации не поддается контролю. Выводить антенну из крайних положений ($\pm 100^\circ$) от руки ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

7. Проверить работоспособность приемника, для чего, не изменяя режима работы, установить масштаб 50 км. Регулятором "Метки" убрать метки.

Регулятором "Яркость" убрать линию развертки, а затем, медленно поворачивая его по часовой стрелке, убедиться, что перед появлением сплошной линии развертки появляется мерцающая линия. Мерцание линии развертки происходит под действием собственных шумов приемника, наличие которых является признаком работоспособности всего приемного тракта.

8. Проверить работу механизма поворота антенны и регулятора скорости поворота, для чего рукоятку "Контраст" повернуть по часовой стрелке до упора и нажать одну из клавиш управления антенной. При этом антенна должна поворачиваться с наибольшей скоростью, но с меньшей, чем в режиме автоматического сканирования. Повернуть рукоятку "Контраст" против часовой стрелки и убедиться, что скорость поворота антенны значительно уменьшится.

При отпуске клавиши антенна, благодаря электродинамическому торможению, должна останавливаться мгновенно.

9. Проверить работу механизма наклона антенны. Повернув регулятор наклона против часовой стрелки на 7° , убедиться, что отражатель наклонится вниз тоже на 7° (по шкале наклона на блоке ГРІУ). Затем, повернув регулятор наклона на 7° (от нулевого положения) по часовой стрелке, убедиться, что отражатель наклонится вверх тоже на 7° .

При остановке двигателя наклона не должны наблюдаться автоколебания отражателя относительно заданного направления наклона.

10. Проверить работу вращателя плоскости поляризации волны (режим "Снос", масштаб 50 км), для чего подключить тестер ТТ-І к гнездам Г1 и Г2 на блоке ГРІУ. Показание вольтметровой шкалы тестера должно соответствовать напряжению, указанному на шильдике, расположенном около потенциометра R_2 (вверная диаграмма).

Переключатель "Км" установить в положение "375", при этом полярность напряжения изменится, и величина его должна соответствовать напряжению, указанному на шильдике, расположенном около потенциометра R_1 (узкая диаграмма).

Соблюдая осторожность (антенна начнет сканировать), установить режим "Земля", масштаб 250 км, и по тестеру убедиться, что при крайних положениях антенны происходит коммутация диаграмм направленности.

11. Проверить работу схемы ВАРУ, для чего вновь установить режим "Снос", масштаб 50 км, вызвать метки и получить на экране, с помощью регулятора "Яркость", мерцающую линию шумов. Затем перейти на масштаб 30 км и убедиться, что шумы от центра до первой метки исчезнут (на масштабе 30 км в режиме "Снос" включается схема ВАРУ).

12. Визуально проверить эффективность действия регуляторов "Яркость" и "Метки".

13. Вернуть все регуляторы и переключатели в исходное положение и выключить РЛС, нажав клавишу "Откл."

14. Выключить питание лабораторного стенда.

антенны в экранированном боксе

1. Выполнить пункты 1, 2, 3, 4, 5, указанные в параграфе I.

2. Настроить приемник, для чего установить режим "Земля", масштаб 50 км, и плавно поворачивать регулятор "Частота" против часовой стрелки до появления на экране радиолокационных отметок от целей, находящихся в зоне обзора.

Вращение регулятора "Частота" следует производить плавно и медленно (один оборот - не менее, чем за 15 секунд). После появления отметок целей вращение регулятора сразу же прекратить.

Изменяя наклон антенны и пользуясь регулятором "Яркость", попытаться увеличить яркость отметок целей.

Если после поворота регулятора "Частота" до упора против часовой стрелки отметки целей не появились, следует переключатель "Режим" установить в положение "Готовность", регулятор "Частота" вернуть в исходное положение (крайнее по часовой стрелке) и вновь установить режим "Земля".

Еще медленнее, чем прежде, вращая регулятор "Частота" и внимательно наблюдая за экраном (если в лаборатории очень светло, использовать тубус), добиться появления отметок целей. Возможно, что придется повторить указанные операции несколько раз.

После появления отметок целей (в районе аэропорта они всегда имеются и расположение их известно техникам радиолокационной лаборатории) регулятор "Частота" не трогать и не переводить его в исходное состояние, как это было рекомендовано в пункте I параграфа I, что позволит при следующем включении сразу получить радиолокационное изображение.

3. Проверить работу регулятора "Контраст", для чего поворачивать его по часовой стрелке. При этом менее яркие отметки должны исчезнуть, а яркость более ярких отметок уменьшится.

4. Проверить работу схемы ВАРУ, для чего перейти на масштаб 30 км, при этом яркость фона и отметки, находящиеся на расстоянии от центра экрана до первого кольца дальности, должна уменьшиться.

5. Переключатель "Режим" установить сперва в положение "Метео", а затем в положение "Контур" и, наклонив антенну вверх, попытаться обнаружить гидрообразования, что в облачную погоду обычно удается.

6. Переключатель "Режим" установить в положение "Снос", при этом на экране должны появиться на линии развертки неподвижные масштабные метки. Пользуясь клавишами ручного управления поворотом антенны, убедиться в нормальной работе схемы управления. Поворачивая регулятор "Контраст", убедиться, что скорость поворота антенны, а следовательно, и линии развертки, при этом изменяется.

7. Визуально проверить эффективность действия регуляторов "Яркость" и "Метки".

8. Вернуть все регуляторы (кроме регулятора "Частота") и переключатели в исходное положение и выключить РЛС, нажав клавишу "Откл."

9. Выключить питание лабораторного стенда.

Справочные сведения

о некоторых транзисторах, используемых в РЛС "Гроза"

Тип транзистора	Проводимость	U_k макс., в	I_k макс., ма	P макс., мвт	$C_{кб}$ пф.	T обр. связи, нсек.	K макс.	Макс. част., мггц
1Т308В	<i>p-n-p</i>	20	50	150	<8	<500	120	200
1Т313З	<i>p-n-p</i>	15	10	100	<2	<40	-	1000
1Т403Ж	<i>p-n-p</i>	60	1250	-	-	-	60	н.ч.
2Т301Ж	<i>n-p-n</i>	10	10	150	<10	<2	-	60
2Т312В	<i>n-p-n</i>	15	30	225	-	<400	280	120
П210А	<i>p-n-p</i>	60	12000	1500	-	-	-	н.ч.
П214	<i>p-n-p</i>	45	5000	10000	-	-	-	н.ч.
П306А	<i>p-n-p</i>	80	400	2000	-	-	-	н.ч.
П307В	<i>n-p-n</i>	120	30	250	-	-	-	н.ч.
П309	<i>n-p-n</i>	120	0,05	-	-	-	50	н.ч.

Приложение № 2

Элементы принципиальных схем РЛС "Гроза"

Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал
Рис. 2.1; 2.4; 2.19.							
R_8	3,9 мом	R_{17}	750 ом	R_{23}	51 ом	C_{13}, C_{14}	0,47 мкф
R_9	100 ом	R_{18}	150 ом	R_{24}	3,6 ком	C_{15}	680 пф
R_{10}	1 ком	R_{19}	110 ком	R_{26}, R_{27}	120 ком	$C_{16}-C_{19}$	0,68 мкф
R_{13}	80 ом	R_{20}	10 ком	R_{28}	6,8 ом	C_{20}	0,47 мкф
R_{14}	750 ом	R_{21}	1,6 ком	C_8, C_9	0,22 мкф	C_{21}, C_{22}	680 пф
R_{15}	100 ом	R_{22}	100 ком	C_{10}, C_{11}	0,47 мкф	C_{23}, C_{24}	0,68 мкф
R_{16}	680 ом						
Рис. 2.18; 2.20.							
R_1	10 ом	C_1	200 мкф	C_7	50 мкф	C_{10}	20 мкф
R_6	130 ом	C_2	0,047 мкф	C_8	30 мкф	C_{11}, C_{12}	20 мкф
R_8	1,5 ком	C_6	10 мкф	C_9	200 мкф		

Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал
Рис. 3.8; 3.9.							
R_1	3 ком	R_{14}	1,6 ком	C_3, C_4	1500 пф	C_{15}	560 пф
R_2	130 ом	R_{15}	100 ом	C_5	1500 пф	C_{16}, C_{17}	6800 пф
R_4	130 ом	R_{16}	620 ом	C_6, C_7	6800 пф	C_{18}	1500 пф
R_5	1,6 ком	R_{17}	330 ом	C_8	6,2 пф	C_{19}	560 пф
R_7	100 ом	R_{18}	2 ком	C_9	6800 пф	C_{20}	36 пф
R_8	750 ом	R_{24}	3,6 ком	C_{10}	560 пф	C_{21}, C_{22}	6800 пф
R_9	330 ом	R_1^*	120 ом	C_{11}	36 пф	C_{23}	1500 пф
R_{10}, R_{11}	1,6 ком	R_2^*	680 ом	C_{12}	6800 пф	C_1^*	30 мкф
R_{12}	100 ом	R_3^*	360 ом	C_{13}	11 пф	C_2^*	1000 пф
R_{13}	330 ом	C_1	1500 пф	C_{14}	47 пф	C_{21}^*	6800 пф
Рис. 3.13.							
R_1	120 ком	R_{11}	1,5 ком	R_{22}	91 ком	C_5, C_6	6,8 мкф
R_2	5,1 ком	R_{12}	3,3 ком	R_{23}	110 ом	C_7	0,068 мкф
R_3	10 ком	R_{13}	1 ком	R_{24}	9,1 ком	C_8	0,15 мкф
R_4	1 ком	R_{16}	18 ком	R_1^*	120 ом	C_9	6,8 мкф
R_5	110 ом	R_{17}	110 ом	R_2^*	680 ом	C_{10}	6,8 мкф
R_6	1,5 ком	R_{18}	91 ком	R_3^*	360 ом	C_{11}	6,8 мкф
R_7	7,5 ком	R_{19}	560 ом	C_1, C_2	0,047 мкф	C_{12}	0,047 мкф
R_8	430 ом	R_{20}	180 ом	C_3	560 пф	C_1^*	30 мкф
R_9	12 ком	R_{21}	51 ом	C_4	0,047 мкф	C_2^*	1000 пф
R_{10}	430 ом						
Рис. 3.16; 3.17.							
R_1	75 ом	R_{42}	2 ком	R_{59}	18 ком	C_{15}, C_{16}	2200 пф
R_2	1,2 ком	R_{43}	3,3 ком	R_{60}	430 ом	C_{35}	10 мкф
R_3	3 ком	R_{44}	82 ом	R_{61}	51 ом	C_{36}	300 пф
R_4, R_5	51 ом	R_{45}	2,2 ком	C_2	2200 пф	C_{37}	2200 пф
R_6	2,7 ком	R_{46}, R_{47}	1,2 ком	C_3	20 пф	C_{38}	20 пф
R_7	3,3 ком	R_{48}	510 ом	C_4	2200 пф	C_{39}, C_{40}	2200 пф
R_8	62 ом	R_{49}	4,7 ком	C_5	2,2 пф	C_{41}	2,2 мкф
R_9	300 ом	R_{50}	750 ом	C_6	75 пф	C_{42}	30 мкф
R_{10}	2 ком	R_{51}	5,1 ком	C_7	36 пф	C_{43}	2200 пф
R_{11}	3,3 ком	R_{52}	51 ом	C_8	2200 пф	C_{44}	2,2 мкф
R_{12}	82 ом	R_{54}	3,3 ком	C_9	2,2 мкф	C_{45}	2200 пф
R_{13}, R_{14}	2,2 ком	R_{55}	1 ком	C_{10}	10 мкф	C_{46}	33 мкф
R_{15}	1,2 ком	R_{56}	3,3 ком	C_{11}	300 пф	C_{47}	2,2 мкф
R_{16}	1,8 ком	R_{57}	1,6 ком	C_{12}	2200 пф	C_{48}	2200 пф
R_{41}	300 ом	R_{58}	2 ком	C_{14}	20 пф		

Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал	Обозн. на схеме	Номинал
Рис. 3.23; 3.24; 3.26; 3.28; 3.30.							
R_1	150 ом	R_{10}	1,3 ком	R_{20}	1,3 ком	C_1	68 мкф
R_2	33 ком	R_{11}	200 ом	R_{21}	15 ком	C_2	100 мкф
R_3	1,2 ком	R_{12}	1 ком	R_{22}	1,3 ком	C_3	15 мкф
R_4	470 ом	R_{13}	220 ком	R_{23}^x	4,7 ком	C_4	0,015 мкф
R_5	1,3 ком	R_{14}	5,6 ком	R_{24}^x	1 ком	C_6	0,022 мкф
R_6	470 ом	R_{15}	18 ком	R_{25}^x	2,2 ком	C_{16}	15 мкф
R_7	1,8 ком	R_{16}	10 ком	R_{26}^x	2,2 ком	C_{17}, C_{18}	0,015 мкф
R_8	240 ом	R_{17}, R_{18}	51 ом	R_{27}^x	360 ом	C_{19}	0,015 мкф
R_9	1,5 ком	R_{19}	1,2 ком	R_{60}^x	430 ом		
Рис. 3.23 (схема питания ЭЛТ).							
R_1	68 ком	R_4	470 ком	R_6	1 мом	C_1	2 мкф
R_2	2,4 ком	R_5	470 ком	R_7	22 ком	C_2	2 мкф
R_3	2,4 ком						
Рис. 4.3; 4.4; 4.5.							
R_1	220 ом	R_{11}	18 ком	R_{22}	5,1 ком	C_5	10 пф
R_2	300 ом	R_{12}	4,7 ком	R_{23}, R_{24}	9,1 ком	C_6	6,8 пф
R_3	68 ом	R_{13}	130 ом	R_{25}, R_{26}	1 мом	C_7	0,047 мкф
R_4	51 ом	R_{14}	1 ком	R_{27}, R_{28}	1 мом	C_8, C_9	0,047 мкф
R_5	5,6 ком	R_{15}	180 ком	R_{29}	2 ком	C_{10}	470 пф
R_6	6,8 ком	R_{16}	5,1 ком	R_{30}, R_{31}	100 ом	C_{11}	0,047 мкф
R_7	3,3 ком	R_{17}	300 ом	C_1	1000 пф	C_{12}, C_{13}	0,15 мкф
R_8	6,8 ком	R_{18}, R_{19}	5,1 ком	C_2	200 пф	C_{15}	22 мкф
R_9	33 ком	R_{20}	300 ом	C_3	3300 пф	C_{16}, C_{17}	33 мкф
R_{10}	8,2 ком	R_{21}	82 ком	C_4	1000 пф	C_{18}, C_{19}	4,7 мкф
Рис. 4.6; 4.7.							
R_1	10 ом	R_{10}	5,1 ком	R_{29}	180 ом	C_3	0,1 мкф
R_2	820 ом	R_{11}	100 ом	R_{30}	510 ом	C_4	200 мкф
R_3	3,9 ком	R_{14}	100 ом	R_{31}	20 ком	C_5	0,1 мкф
R_4	3,3 ком	R_{15}	150 ом	R_{32}	24 ком	C_6	0,33 мкф
R_5	2,7 ком	R_{16}	3 ком	R_{31a}^x	1 ком	C_{13}, C_{14}	1 мкф
R_6	150 ком	R_{17}	33 ком	R_{34}^x	390 ком	C_{15}, C_{16}	0,5 мкф
R_7	10 ком	R_{18}	5,1 ком	R_5	10 ком	C_{25}	0,047 мкф
R_9	100 ом						